



**Universidade de  
Aveiro**

**2013**

Departamento de Ambiente e Ordenamento

**Andreia Manuela  
Dias Lopes**

**Exposição populacional a poluentes atmosféricos  
na região de Estarreja**







**Universidade de  
Aveiro**

**2013**

Departamento de Ambiente e Ordenamento

**Andreia Manuela  
Dias Lopes**

## **Exposição populacional a poluentes atmosféricos na região de Estarreja**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Joana Ferreira, Estagiária de Pós Doutoramento – Centro de Estudos do Ambiente e do Mar – CESAM, do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Este trabalho insere-se no âmbito do projeto INSPIRAR (PTDC/AAC-AMB/103895/2008), é financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade (COMPETE) e por Fundos Nacionais através da FCT



Dedico este trabalho aos meus pais, à minha família e amigos pelo incansável apoio.



## **o júri**

presidente

**Prof. Doutora Teresa Filomena Vieira Nunes**

Professor Associada, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro

**Prof. Doutora Joana Ferreira**

Estagiária de Pós-Douturamento, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro

**Doutora Susana Marta Lopes Almeida**

Investigadora Auxiliar, Campus Tecnológico e Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa





## **agradecimentos**

Este espaço e estas linhas são dedicadas a todos aqueles que deram o seu contributo para que fosse possível a realização desta dissertação e que sem este apoio não conseguiria chegar ao final desta jornada.

À Doutora Joana Ferreira, orientadora desta dissertação, quero agradecer pela forma incansável como sempre orientou científica e globalmente esta dissertação. Pela paciência que demonstrou durante estes meses e pelo apoio que me transmitiu. Um obrigado especial.

À Joana Garrido, quero agradecer por estes 5 anos, pelo apoio que sempre me deu e por todos os momentos vividos. Às amigas que sempre me acompanharam e que comigo lutaram por este objetivo. Obrigado a vocês as três por tudo. Aos meninos do meu coração por tudo o que passaram comigo durante todo este tempo.

A todos os meus amigos das minhas duas cidades que sempre me apoiaram e contribuíram para que eu conseguisse atingir o meu objetivo final. Obrigado por todas as horas de paciência e compreensão ao longo de todo o tempo.

A todos os membros do NEEA da presente coordenação e da coordenação anterior, que mesmo de uma forma subtil contribuíram para a realização desta dissertação.

Para terminar, um agradecimento especial aos meus pais porque sem eles nunca teria conseguido chegar tão longe e nunca teria lutado pelos meus objetivos, e à minha família pela compreensão e apoio dado durante todo este tempo.



## **palavras-chave**

Exposição populacional, Poluição atmosférica, Modelação, Qualidade do Ar

## **resumo**

Com o grande desenvolvimento industrial, aliado ao aumento demográfico e à concentração das populações em áreas urbanas tem vindo a acentuar-se a preocupação sobre os potenciais efeitos e impactes no ambiente e na saúde humana resultantes da emissão de poluentes atmosféricos. Numa área urbana industrializada, os óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ) e material particulado ( $\text{PM}_{10}$ ) constituem os poluentes mais críticos em termos de qualidade do ar, com potenciais impactes na saúde, uma vez que são essencialmente emitidos pelo tráfego rodoviário e pela indústria.

O estudo dos impactes da qualidade do ar na saúde humana deve basear-se em toda uma cadeia de eventos, desde a emissão dos poluentes para atmosfera até aos efeitos na saúde humana, sendo a exposição o evento que estabelece a relação entre a poluição atmosférica e a saúde. A exposição descreve a interação entre o ambiente e um ser vivo, ou seja, implica o contacto de um indivíduo com o poluente. Assim, o principal objetivo da presente dissertação é estimar a exposição humana a poluentes atmosféricos ( $\text{NO}_2$  e  $\text{PM}_{10}$ ) da população da região de Estarreja, mediante a aplicação de um modelo de exposição, para avaliar o impacto da qualidade do ar na exposição humana na região de estudo. Este trabalho constitui um contributo para o projeto de investigação INSPIRAR.

A exposição populacional foi calculada para dois subgrupos da população, faixa etária dos 5 aos 19 anos e faixa etária dos 25 aos 64 anos, e para dois períodos do ano. Foi adaptada e aplicado um modelo de exposição e seguindo uma abordagem microambiental, isto é, considerando os espaços (microambientes) visitados pelos grupos populacionais ao longo do dia.

Os resultados obtidos em termos de exposição populacional mostram que a população está potencialmente exposta a níveis de  $\text{PM}_{10}$  que poderão afetar a sua saúde, uma vez que excedem o valor limite diário de qualidade do ar imposto pela legislação para proteção da saúde humana, e tal deve-se principalmente aos níveis de fundo regional. Relativamente ao  $\text{NO}_2$ , os valores de exposição obtidos são baixos, não preocupantes.





**keywords**

Population Exposure, Air Pollution, Modeling, Air Quality

**abstract**

With the great industrial development, coupled with population increase and concentration in urban areas, concern about the potential effects and impacts on the environment and human health resulting from the emission of air pollutants has been increasing. In urban industrialized area, nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and particulate matter (PM<sub>10</sub>) are the most critical pollutants in terms of air quality, with potential impacts on health, since they are mainly emitted by traffic and industry.

The study of the air quality impacts on human health should be based on a chain of events, from the emission of pollutants to the atmosphere till the effects on human health, being exposure the event that establishes the relationship between air pollution and health. Exposure reflects the interaction between the environment and living beings, ie, involves contact of an individual with the pollutant. Thus, the main objective of this dissertation is to estimate the long-term human exposure to air pollutants (NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>) of the population of the region Estarreja, by the application of an exposure model, to assess the impact of air quality on human exposure in the study region. This work is a contribution to the research project INSPIRAR.

The population exposure was calculated for two subgroups of the population, aged from 5 to 19 years and from 25 to 64 years, and for two seasons. A system model for air quality and exposure to urban scale was applied and followed an approach by microenvironments visited by population groups throughout the day.

The results in terms of population exposure show that the population is potentially exposed to PM<sub>10</sub> levels that may affect its health, since the air quality daily limit value for the protection of human health is exceeded, mainly due to the influence of regional background levels. For NO<sub>2</sub>, exposure values obtained are low and not worrying.





1. Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Objetivos e Metodologia .....	6
2. Qualidade do Ar e Exposição Humana .....	9
2.1 Poluentes Atmosféricos e Fontes .....	10
2.2 Qualidade do Ar .....	11
2.3 Exposição Humana .....	19
2.3.1 Exposição Exterior e Interior .....	20
2.3.2 Cálculo da Exposição .....	22
2.3.3 Modelação da Exposição .....	23
2.4 Dose e Efeitos na Saúde .....	26
3. Caracterização da área de estudo .....	29
3.1 Caracterização geográfica .....	29
3.2 Caracterização socioeconómica .....	31
3.3 Transportes e Vias de Comunicação .....	35
3.4 Caracterização climatológica .....	35
3.5 Emissões e Qualidade do Ar .....	36
4. Modelação de Exposição para a Região de Estarreja .....	45
4.1 Condições de aplicação .....	45
4.1.1 Dados de entrada .....	46
4.2 Modelo de exposição .....	51
4.3 Dados de Saída .....	55
5. Exposição Populacional em Estarreja .....	57
5.1 Evolução temporal .....	58
5.2 Distribuição Espacial .....	75
5.3 Perfis Médios .....	78
6. Conclusões .....	87
Referências Bibliográficas .....	91
Anexos .....	95



---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Cadeia de eventos associados à poluição atmosférica, das causas até aos efeitos na saúde. ....	9
Figura 2 - Delimitação das zonas e aglomerações nacionais (a) e da Região Centro (b) e respetivas estações de Monitorização (Lameiras, 2011). ....	17
Figura 3 - Fontes de poluentes que influenciam os níveis de exposição. ....	18
Figura 4 - Definição de Exposição como sendo a interação entre os campos de concentração numa área e a densidade da população dessa área (WHO, 1999). ....	19
Figura 5 - Relação entre a concentração ambiental e a exposição efetiva, tendo em conta que as pessoas passam maior parte do tempo no interior (WHO, 1999). ....	21
Figura 6 - Esquema representativo dos fatores de influência na Exposição. ....	25
Figura 7 – Pirâmide representativa da severidade dos efeitos na saúde humana tendo em conta a proporção da população (European Environment Agency, 2013). ....	28
Figura 8 – Mapa do distrito de Aveiro com destaque do concelho de Estarreja. ....	30
Figura 9 - Valores de altimetria para a região de Aveiro. ....	31
Figura 10 - População residente nas freguesias do concelho de Estarreja em 1991, 2001 e 2011. ....	31
Figura 11 - Distribuição das várias faixas etárias para o ano de 2011 (INE, 2012). ....	32
Figura 12 - Distribuição das escolas no concelho de Estarreja. ....	33
Figura 13 - Distribuição da população do concelho de Estarreja pelos vários setores de atividade. ....	34
Figura 14 - Localização do Complexo Químico de Estarreja. ....	34
Figura 15 - Dados de temperatura e precipitação para o concelho de Aveiro. ....	35
Figura 16 - Rosa-dos-ventos com valores de frequência e de velocidades dos ventos às 9h (a) e às 15h (b) no concelho de Estarreja. ....	36
Figura 17 - Evolução dos poluentes SO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , CO, COVNM e PM <sub>10</sub> [URL 3]. ....	38
Figura 18 - Estações de Monitorização da Qualidade do Ar de Estarreja, Avanca (A) (desativada em 2005) e Teixugueira (B). ....	40

Figura 19 - Valores de Excedências dos poluentes SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> e PM <sub>10</sub> .....	41
Figura 20 - Domínio de aplicação do modelo de Exposição com delimitação das 7 freguesias do concelho de Estarreja. ....	46
Figura 21 - Microambientes por cada célula do domínio.....	47
Figura 22 - População de Estarreja distribuída por subsecção e por célula do domínio para as duas faixas etárias analisadas.....	50
Figura 23 - Padrão de Atividade-tempo para a população dos 25-64 anos (b) e dos 5-19 anos (a) (INE, 1999).....	51
Figura 24 - Fluxograma global do modelo de Exposição. ....	52
Figura 25- Fluxograma do cálculo das concentrações interiores do modelo. ....	53
Figura 26 - Células definidas pelo utilizador para o cálculo da exposição populacional. ..	57
Figura 27- Evolução temporal da concentração exterior para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Escola” e para a época de Inverno.....	59
Figura 28 - Evolução temporal da exposição para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Escola”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Inverno. ....	59
Figura 29 - Evolução temporal da concentração exterior para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Zona Habitacional”, para a época de Inverno. ....	60
Figura 30 - Evolução temporal da exposição para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Zona Habitacional”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Inverno. ....	60
Figura 31 - Evolução temporal da concentração exterior para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Escola” e para a época de Primavera.....	61
Figura 32 - Evolução temporal da exposição para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Escola”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Primavera. ....	61
Figura 33 - Evolução temporal da concentração exterior para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Zona Habitacional”, para a época de Primavera. ....	62
Figura 34 – Evolução temporal da exposição para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Escola”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Primavera. ....	62
Figura 35 - Evolução temporal da concentração exterior e da exposição para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Indústria” considerando células representativas do CQE, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Inverno.....	62
Figura 36 - Evolução temporal da concentração exterior para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Outros Serviços”, e para a época de Inverno.....	63

Figura 37 - Evolução temporal da exposição para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Outros Serviços”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Inverno. ....	63
Figura 38 - Evolução temporal da concentração exterior para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Zona Habitacional”, para a época de Inverno. ....	64
Figura 39 - Evolução temporal da exposição para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Zona Habitacional”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Inverno. ....	64
Figura 40 - Evolução temporal da concentração exterior e da exposição para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Indústria” considerando células representativas do CQE, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de primavera. ....	65
Figura 41 - Evolução temporal da concentração exterior para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Outros Serviços”, para a época de Primavera. ....	65
Figura 42 - Evolução temporal da exposição para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Outros Serviços”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Primavera. ....	66
Figura 43 - Evolução temporal da concentração exterior para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Zona Habitacional”, e para a época de Primavera. ....	66
Figura 44 - Evolução temporal da exposição para NO <sub>2</sub> para o microambiente “Zona Habitacional”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Primavera. ....	67
Figura 45 - Evolução temporal da concentração exterior para PM10 representativa dos microambientes “Escola” e “Zona Habitacional”, para o período de Inverno. ....	68
Figura 46 - Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Escola”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Inverno. ....	68
Figura 47 - Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Zona Habitacional”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Inverno. ....	69
Figura 48 - Evolução temporal da concentração exterior para PM10 representativa dos microambientes “Escola” e “Zona Habitacional”, para a época de Primavera. ....	70
Figura 49 - Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Escola”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Primavera. ....	70
Figura 50 - Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Zona Habitacional”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Primavera. ....	70
Figura 51 - Evolução temporal da concentração exterior e da exposição para PM10 para o microambiente “Indústria” considerando células representativas do CQE, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Inverno. ....	71

Figura 52 - Evolução temporal da concentração exterior para PM10 representativa dos microambientes “Outros serviços” e “Zona Habitacional”, para grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Inverno. ....	72
Figura 53 - Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Outros serviços”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Inverno. ....	72
Figura 54 – Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Zona Habitacional”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Inverno. ....	72
Figura 55 - Evolução temporal da concentração exterior e da exposição para PM10 para o microambiente “Indústria” considerando células representativas do CQE, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Primavera.....	73
Figura 56 - Evolução temporal da concentração exterior para PM10 representativa dos microambientes “Outros serviços” e “Zona Habitacional”, para a época de Primavera.....	74
Figura 57 - Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Outros serviços”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Primavera. ....	74
Figura 58 - Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Zona Habitacional”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Primavera. ....	74
Figura 59 – Distribuição Espacial da exposição a NO <sub>2</sub> , por faixa etária. ....	76
Figura 60 - Distribuição Espacial da exposição a PM10, por faixa etária ....	77
Figura 61 – Perfil médio da concentração exterior para NO <sub>2</sub> para as zonas Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas, relativamente aos microambientes “Escola” e “Zona Habitacional” .....	78
Figura 62 - Perfil médio da Exposição para NO <sub>2</sub> para as Escolas do Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas. ....	79
<b>Figura 63 - Perfil médio da Exposição para NO<sub>2</sub> para as Áreas Residenciais do Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.....</b>	<b>79</b>
Figura 64 - Perfil médio da Concentração e Exposição o NO <sub>2</sub> para CQE, para as duas épocas analisadas.....	80
Figura 65 - Perfil médio da Concentração para o NO <sub>2</sub> para as Áreas Residenciais na ZONA NORTE, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.....	81
Figura 66 - Perfil médio da Exposição para o NO <sub>2</sub> para as “Outros Serviços” na ZONA NORTE, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.....	81
Figura 67 - Perfil médio da Exposição para o NO <sub>2</sub> para as Áreas Residenciais na ZONA NORTE, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.....	81

Figura 68 - Perfil médio da concentração para o PM10 para as Escolas do Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas. ....	83
Figura 69 - Perfil médio da exposição para o PM10 para as Escolas do Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas. ....	83
Figura 70 - Perfil médio da exposição para o PM10 para as Áreas Residenciais do Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas. ....	83
Figura 71 - Perfil médio da concentração e exposição para PM10 para CQE, para as duas épocas analisadas. ....	84
Figura 72 - Perfil médio da Concentração para PM10 para as “Outros Serviços” na zona Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas. ....	85
Figura 73 - Perfil médio da Exposição para PM10 para as “Outros Serviços” na zona Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas. ....	85
Figura 74 - Perfil médio da Exposição para PM10 para as Áreas Residenciais do Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas. ....	85





---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Fontes e efeitos dos principais poluentes atmosféricos (European Environment Agency, 2013). .....	11
Tabela 2 - Descrição dos problemas de poluição atmosférica associados a cada escala espacial. ....	12
Tabela 3 – Parâmetros definidos no DL 102/2010, de 23 de Setembro, para as concentrações dos poluentes no ar ambiente. ....	14
Tabela 4 – Tipos de modelos de Exposição (Organization, 2005). ....	24
Tabela 5 – Características da Estação da Qualidade do Ar de Teixugueira/Estarreja (Lameiras, 2011). ....	40
Tabela 6 - Relações empíricas interior/exterior para os poluentes NO <sub>2</sub> e PM <sub>10</sub> , e para dois microambientes. ....	49



---

# 1. INTRODUÇÃO

O planeta está cheio de recursos naturais essenciais, podendo destacar-se o ar, o qual contribui significativamente para a sustentabilidade da vida. Devido aos efeitos nocivos provocados pela poluição atmosférica sentidos globalmente no decorrer dos tempos, este recurso tornou-se o meio de ligação entre a Qualidade do Ar e a Exposição Humana.

## 1.1 *Enquadramento*

Desde o início do uso do fogo, que o Homem se depara com os problemas de Poluição Atmosférica. Com o passar do tempo, este problema foi-se agravando e com a revolução industrial e o desenvolvimento social, foi necessário um aumento da preocupação por parte do Homem mas de uma forma isolada. Com a consciencialização de que a poluição não era uma situação local mas sim regional, e até global, começou-se a desenvolver uma abordagem transfronteiriça.

Todos os dias são emitidos poluentes para a atmosfera que podem prejudicar gravemente a saúde humana. A emissão destes poluentes dá-se por variadas fontes de emissão. Estas podem ser classificadas quanto à sua origem, em fontes de poluição naturais incluindo o solo, animais, vulcões, plantas, entre outras; ou em fontes de poluição artificiais ou antropogénicas, que decorrem da atividade humana e incluem, entre outras, os meios de transporte e as instalações industriais. Para além desta classificação, as fontes emissoras podem ainda ser classificadas quanto à natureza das emissões em fontes pontuais, ou seja,

requerem um tratamento individual, devido à sua dimensão ou contributo para as emissões totais da área em estudo; fontes em área, referentes a emissões difusas, distribuídas de forma maioritariamente homogénea na área de estudo, podendo incluir fontes de pequenas dimensões ou de difícil identificação; e fontes em linha, que normalmente são alusivas a fontes móveis como o transporte rodoviário.

Devido ao mau ordenamento do território, má gestão ambiental e a falta de um planeamento estratégico, dá-se uma acumulação de poluentes nos centros urbanos. Com o aumento da população, a procura de uma melhor qualidade de vida e de bem-estar, os cidadãos preferiram passar a viver na periferia da cidade. Com esta expansão, o aumento do tráfego, o aumento das indústrias e o aumento de equipamentos emissores de poluentes dentro das habitações como por exemplo caldeiras, têm conduzido a níveis de poluição preocupantes, sentidos não só nos centros urbanos como, também, na periferia. Apesar da importância económica existente sobre o crescimento dos centros urbanos e industrializados, a qualidade do ar fica gravemente afetada devido à acumulação de poluentes nestas áreas, levando a um aumento da exposição da população à poluição e, consequentemente, causando danos na saúde humana.

Para que haja exposição é necessário a ocorrência de uma concentração não nula de um poluente num dado local e a presença de um indivíduo nesse mesmo local. Tendo em conta as limitações da medição direta, surgem modelos numéricos como ferramentas vantajosas para estimar a exposição a que uma população está sujeita, considerando a distribuição espacial e temporal dos indivíduos e das concentrações de poluentes na atmosfera.

Com o aumento dos níveis de poluentes atmosféricos, os graves efeitos sobre a saúde humana fazem-se cada vez mais sentir, provocando diversas consequências para a qualidade de vida. Assim, é importante avaliar a exposição humana à poluição atmosférica e analisar o seu impacto na saúde.

Os efeitos dos poluentes atmosféricos dependem do tempo de exposição aos poluentes em causa e da concentração dos poluentes (definida pela massa ou quantidade do mesmo por volume de ar (Hertel et al., 2001)) em determinado local. Já em termos de saúde humana, podem surgir efeitos crónicos ou agudos, dependendo da situação em que se encontra o indivíduo exposto.

Por estes motivos, as inquietações ambientais dirigem-se ao controlo da emissão de poluentes na atmosfera e uma boa qualidade do ar. Para isto, é necessário conhecer e medir as concentrações dos poluentes, identificar fontes e analisar, ao longo do tempo, a qualidade do ar. É daqui que parte o planeamento de varias ações capazes de promover a melhoria da qualidade do ar e, claro, da qualidade de vida (Figueiredo, 2011).

A Comissão Europeia tem desenvolvido ao longo dos anos uma maior preocupação sobre esta temática, aumentando as estratégias para que todos os Estados-Membros sigam o mesmo caminho e as mesmas linhas orientadoras. Uma maneira de colocar em execução este plano foi a criação de um documento que define e descreve os princípios básicos da estratégia da UE em relação à qualidade do ar, abrangendo todos os Estados-Membros nos procedimentos de avaliação, previsão e informação ao público, a Diretiva-Quadro (Diretiva 2008/50/CE, de 21 de Maio) (Figueiredo, 2011). Esta Diretiva-Quadro foi transposta para a legislação nacional pelo Decreto de Lei nº102/2010, de 23 de Setembro, que estabelece a nível nacional as linhas orientadoras para a gestão da qualidade do ar ambiente, exigências relativas à monitorização e previsão de certos poluentes.

As ferramentas definidas por este documento para avaliação, controlo e gestão da qualidade do ar são, para além dos inventários de emissões e da monitorização, os modelos de transporte e dispersão. Uma vez que em Portugal nem toda a área está coberta pela rede de monitorização de qualidade do ar, a aplicação de técnicas de modelação apresenta a vantagem de permitir obter níveis de qualidade do ar para todo o território nacional ou para uma região de interesse (Ferreira, 2007).

A Comissão Europeia tem vindo a desenvolver o programa CAFÉ “CLEAN AIR FOR EUROPE” com o objetivo de proteger a saúde humana e o ambiente dos efeitos da poluição atmosférica a longo prazo, apontando a modelação como meio de avaliação e previsão da qualidade do ar, tanto a nível regional como a nível local (CE, 1998). Assim, a previsão da qualidade do ar é definida como prioridade pois permite a obtenção de previsões com alguma antecedência e, ate para alguns casos de alertas, poderem ser possíveis de aviso à população como planos e medidas de ação em determinados casos de urgência.

Devido ao aumento da exposição a elevados níveis de poluentes, vários projetos, tanto a nível europeu como a nível nacional, foram desenvolvidos ao longo do tempo para evidenciar a importância deste tema nos dias de hoje e para mostrar como a exposição a poluentes atmosféricos afeta gravemente a saúde humana e o ambiente.

A nível europeu foram desenvolvidos inúmeros projetos nesta área como por exemplo o Projeto EXPOLIS que através da realização de questionários e da medição da exposição a subgrupos da população de sete cidades europeias (Atenas, Basel, Grenoble, Milão, Helsínquia, Oxford e Praga) para os principais poluentes atmosféricos, agrupa dados de exposição individual (Hänninen et al., 2004). Outro projeto desenvolvido na Europa é o Projeto PEOPLE que tem como o objetivo avaliar, no ambiente exterior, no interior de edifícios, os níveis de poluentes atmosféricos e o grau de exposição a que estão sujeitas as pessoas que habitam e/ou trabalham em algumas cidades europeias tais como Bruxelas, Lisboa, Liubliana, Madrid e Dublin. Um dos poluentes analisados numa primeira fase foi o benzeno e em Lisboa os resultados divulgam uma grande diferença entre as concentrações existentes no ar ambiente e as concentrações a que as pessoas estão expostas devido aos níveis de exposição individual serem normalmente elevados face aos níveis medidos no exterior (R. A. Field, et al, 2005). Mais um exemplo de projeto desenvolvido a nível europeu é o Projeto SIMPHONIE – Poluição do Ar Interior na escola e na saúde: Observatório para a Europa [URL 1]. Este projeto é um projeto de pesquisa complexo que abrange as áreas da saúde, do meio ambiente, do transporte e das alterações climáticas e visa melhorar a qualidade do ar nas escolas e jardins-de-infância. Neste projeto são avaliados inúmeros espaços interiores de 25 países europeus, inclusive Portugal, com o objetivo de implementar Meta de Prioridade Regional III (Regional Priority Goal III (RPG3)) para o Ambiente Infantil e Plano de Ação de Saúde para a Europa (Children's Environment and Health Action Plan for Europe (CEHAPE)). Este projeto promove o conhecimento mais aprofundado da exposição das crianças aos poluentes do ar interior e a avaliação do correspondente risco para a saúde. Esta investigação implica estudos aos ambientes interiores, realização de uma avaliação toxicológica dos riscos químicos e biológicos e estudos dos efeitos na saúde relacionados com a qualidade do ar interior (QAI).

Já a nível nacional, realizaram-se vários projetos nesta área como o Projeto SAUDAR, Projeto PAREXPO e Projeto INSPIRAR. O Projeto SAUDAR, financiado pela Fundação Calouste Gulbenkian (FCG), pretende analisar a relação da qualidade do ar com a saúde humana na região de Viseu e a evolução previsível dessa região nos planos de desenvolvimento existentes, recorrendo à monitorização e modelação das concentrações ambientais e testes médicos a um grupo de crianças asmáticas selecionado (C. Borrego et al., 2007).

O projeto PAREXPO (Partículas em Ambiente Urbano e Exposição Humana), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), tem como objetivo a análise das concentrações de material particulado no ar ambiente numa região urbana portuguesa com alta densidade populacional, cidade do Porto, bem como a avaliação dos seus efeitos na saúde humana. Além disso, o desenvolvimento de metodologias de estimativa de exposição humana a curto e a longo prazo, através de simulação numérica para este último método, fazem parte dos objetivos deste projeto. Os resultados deste projeto mostraram que a população que trabalha ou reside na cidade do Porto está sujeita a problemas de saúde devido à poluição atmosférica por PM10 (Borrego et al., 2007).

O Projeto INSPIRAR pretende avaliar as zonas industrializadas, neste caso específico a região de Estarreja, verificando se apresentam pior qualidade do ar e exposição que outras áreas já estudadas, qual o contributo relativo da atividade industrial, verificar se existem ou não relações entre a poluição industrial e a saúde humana tanto a curto como a longo prazo. Este estudo utiliza a aplicação de ferramentas computacionais de modelação para quantificar a contribuição das várias fontes de emissão para a qualidade do ar e para a exposição e utiliza testes epidemiológicos individual e da população. Desta forma, o desenvolvimento desta dissertação constituiu um importante contributo para este projeto, ajudando a atingir os seus objetivos [URL 2].

A qualidade do ar e exposição são áreas de estudo que têm vindo a ser exploradas e estudadas de uma forma muito mais intensificada para que seja possível um apoio maior na tomada de decisão relativamente à gestão da qualidade do ar e à prevenção dos riscos associados à exposição e efeitos na saúde, podendo ainda contribuir para a sensibilização das populações ou faixas etárias afetadas pela poluição atmosférica.

### 1.2 *Objetivos e Metodologia*

O principal objetivo da presente dissertação é estimar a exposição humana a poluentes atmosféricos da população da região de Estarreja, mediante a aplicação de um modelo de exposição, para avaliar o impacto da qualidade do ar na exposição humana na região de estudo.

A região escolhida para o desenvolvimento desta dissertação é o concelho de Estarreja devido à existência de um dos maiores complexos industriais do país, o Complexo Química de Estarreja (CQE). Por consequência esta região, ao longo dos anos, tem vindo a sofrer o impacto das atividades industriais e urbanas, podendo fazer com que os episódios de poluição atmosférica a que a população de Estarreja está sujeita sejam cada vez mais preocupantes.

De forma a atingir o objetivo proposto, adotou-se a seguinte metodologia:

1. Pesquisa bibliográfica sobre a temática qualidade do ar e exposição humana, incluindo trabalhos realizados anteriormente para outras regiões;
2. Recolha de informação necessária – dados populacionais, socioeconómicos, geográficos e de qualidade do ar para a região de estudo;
3. Tratamento espacial da informação recolhida recorrendo ao software SIG (Sistemas de Informação Geográfica);
4. Familiarização e aplicação do modelo de exposição populacional (em linguagem fortran) para um período e área selecionados;
5. Tratamento e análise dos resultados obtidos de forma a identificar as áreas/subgrupos da população mais afetados pelo impacto da qualidade do ar na exposição humana na região de estudo.

O trabalho desenvolvido está apresentando em 6 capítulos. Depois de fazer uma breve introdução à dissertação, o capítulo 2 apresenta algumas noções básicas sobre Qualidade do Ar e Exposição, enquadrando conceitos, modos de cálculo e efeitos na saúde humana.

No capítulo 3 é apresentada a área de estudo, concelho de Estarreja, sendo caracterizada a nível geográfico, socioeconómico, climatológico, acessibilidades, emissões atmosféricas e qualidade do ar.



O capítulo 4 incide na modelação da exposição dos poluentes atmosféricos. É apresentado a estrutura e a metodologia de aplicação do modelo numérico de exposição utilizado neste estudo e feita a descrição do processo de recolha e tratamento de informação para aplicação desse mesmo modelo de exposição.

No capítulo 5 é exposto o tratamento dos resultados procedentes da aplicação do modelo de exposição aos dados apresentados e tratados no capítulo anterior.

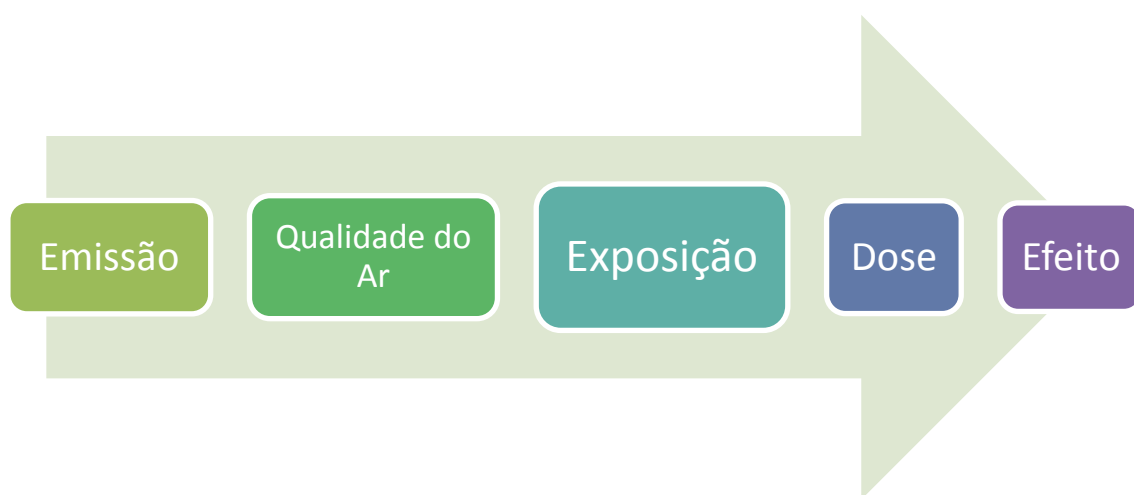
Por último, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões do estudo, salientando a sua importância e as razões que possam despertar o desenvolvimento de estudos futuros nesta mesma área.



---

## 2. QUALIDADE DO AR E EXPOSIÇÃO HUMANA

Com o grande desenvolvimento industrial e, conseqüentemente, o aumento demográfico e a concentração das populações em áreas urbanas, a preocupação sobre os potenciais efeitos e impactos no ambiente e na saúde têm vindo a acentuar-se de forma exponencial. Torna-se, então, importante analisar os efeitos que os níveis de qualidade do ar apresentam, principalmente os efeitos na saúde humana. Esta análise deve basear-se em toda uma cadeia de eventos, desde a emissão dos poluentes para atmosfera até aos efeitos na saúde humana (figura 1), sendo a exposição o evento que estabelece a relação entre a poluição atmosférica e a saúde. De seguida, define-se e caracteriza-se cada um destes eventos.



**Figura 1-** Cadeia de eventos associados à poluição atmosférica, das causas até aos efeitos na saúde.

### 2.1 *Poluentes Atmosféricos e Fontes*

A emissão é a descarga, direta ou indireta, para a atmosfera, dos poluentes atmosféricos presentes nas fontes de emissão. Esta descarga pode ser classificada quanto à sua origem como natural, inclui vegetação, solo, animais ou vulcões, ou antropogénica, resultante da atividade humana incluindo indústrias ou transportes.

Em relação à natureza das emissões, estas podem ser classificadas como:

- Fontes pontuais: que abrangem as instalações industriais, que pela sua dimensão, contribuem nas emissões totais da área considerada ou pelo tipo de poluente emitido, merecem tratamento individual.

- Fontes em área: referentes a emissões difusas e com distribuição homogénea na área considerada, que podem incluir fontes de pequenas dimensões que não possam ser consideradas como pontuais.

- Fontes em linha: associam-se às fontes móveis, como por exemplo tráfego (Vallero, 2008).

São vários os poluentes emitidos pelas inúmeras fontes existentes, influenciando a qualidade do ar e, consequentemente, a saúde humana. Assim, é possível distinguir-se dois tipos de poluentes:

- Poluentes Primários: emitidos diretamente pelas fontes para a atmosfera, sendo expelidos diretamente por estas (sendo exemplo os gases que provêm do tubo de escape de um veículo automóvel ou de uma chaminé de uma fábrica) como monóxido de carbono (CO), óxidos de azoto (NO<sub>2</sub>) constituídos pelo monóxido de azoto (NO) e pelo dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>) ou dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>);
- Poluentes Secundários: resultam de reações químicas que ocorrem na atmosfera e onde participam alguns poluentes primários. Exemplo desta reação é o ozono troposférico (O<sub>3</sub>), o qual resulta de reações fotoquímicas (são efetuadas na presença de luz solar) que se estabelecem entre os óxidos de azoto, o monóxido de carbono ou os Compostos Orgânicos Voláteis (COV).

A tabela 1 apresenta as fontes e os efeitos dos principais poluentes atmosféricos.

Tabela 1 - Fontes e efeitos dos principais poluentes atmosféricos (European Environment Agency, 2013).

<u>Poluente Atmosférico</u>	<u>Fonte</u>	<u>Efeito</u>
<b>CO</b>	Tráfego; Laboração industrial.	Concentrações baixas – afeta indivíduos com doenças coração; Concentrações altas – pode causar dores de cabeça, reflexos lentos, fadiga; Reduz a capacidade de transporte de oxigénio no sangue.
<b>SO<sub>2</sub></b>	Laboração industrial (indústria química).	Irritação do nariz e sistema respiratório superior; Pode ser absorvido pelo sangue.
<b>NO<sub>x</sub></b>	Tráfego; Laboração industrial.	Maior suscetibilidade para infeções respiratórias; Diminuição de funcionamento do pulmão.
<b>Metais Pesados</b>	Laboração industrial.	Provocam cancro; Causam problemas digestivos; Afetam o sistema nervoso.
<b>Benzeno</b>	Laboração industrial.	Provoca cancro; Afeta o sistema nervoso central.
<b>Pb</b>	Trafego; Laboração Industrial.	Tóxico acumulativo; Anemia e destruição de tecido cerebral.
<b>O<sub>3</sub></b>	Ao nível do solo resulta de reações químicas.	Inflamação e irritação do pulmão; Irritação do sistema respiratório - incapacidade de respirar profundamente.
<b>PM</b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b> Tráfego; Laboração industrial;	Contribui para problemas relacionados cm visibilidade.
	<b>PM<sub>10</sub></b> Construção civil; Atividades agrícolas.	Efeitos significativos na saúde a longo prazo; Aumento de doenças respiratórias e destruição do pulmão; Possibilidade de morte prematura.

Para além dos efeitos na saúde, estes poluentes também provocam impactos no ambiente.

## 2.2 Qualidade do Ar

Depois de emitidos, os poluentes podem sofrer dispersão, transporte, transformação química ou até deposição (húmida ou seca). Estes processos podem ocorrer a várias escalas

espaciais (da global à local) e temporais (desde anos a minutos) com efeitos distintos no ambiente e na qualidade do ar.

À escala global, os processos dinâmicos controlam a físico-química da atmosfera relativamente às espécies pouco reativas como por exemplo a depleção da camada de ozono e o incremento do efeito de estufa. Pelo contrário, à escala local existe uma diversidade muito grande de fontes emissoras provocando a formação de uma atmosfera complexa e reativa devido à heterogeneidade de poluentes, como por exemplo, os hot-spots em áreas urbanas. Os hot-spots são locais onde as emissões provenientes de fontes específicas expõem os indivíduos e grupos da população a riscos elevados de poluição contribuindo para os riscos de saúde.

A uma escala regional ocorre transporte e transformação dos poluentes atmosféricos devido às condições atmosféricas que se poderão sentir no qual engloba os fenómenos meteorológicos de mesoescala. Neste tipo de escala podem ser estudados fenómenos como chuvas ácidas e eutrofização.

A escala sinótica ou mesoescala promove o estudo de fenómenos de circulação atmosférica (brisas) na produção e distribuição dos poluentes fotoquímicos e seus precursores, como no caso do ozono troposférico. Na tabela 2 encontra-se, de forma resumida, a descrição dos problemas de poluição atmosférica associadas a cada escala espacial:

**Tabela 2 - Descrição dos problemas de poluição atmosférica associados a cada escala espacial.**

<u>Escala</u>	<u>Dimensão</u>	<u>Descrição</u>
<b>Local</b>	>5 Km	Problemas de poluição caracterizados por uma ou várias grandes fontes emissoras ou um grande número de pequenas fontes (Vallero, 2008). Alguns poluentes, em virtude da sua fonte ou por possuírem um tempo de vida curto na atmosfera, só são encontrados em concentrações apreciáveis próximo de onde são emitidos e não estão presentes em concentrações significativas na atmosfera de fundo (WHO, 2005).
<b>Urbana</b>	>50 Km	Problemas de poluição associados à libertação de poluentes primários à formação de poluentes secundários (Vallero, 2008). Os poluentes de origem urbana, tais como NO <sub>x</sub> e CO gerados pelo tráfego rodoviário, tendem a estar presentes em concentrações elevadas e toda a cidade e em concentrações significativamente reduzidas em áreas rurais adjacentes. O seu tempo de vida na atmosfera não é longo (tipicamente horas) e, portanto, as concentrações na

		atmosfera de fundo afastadas tendem a ser muito baixas (exceto no caso do CO, em que o tempo de vida é mais longo) (WHO, 2005).
<b>Regional</b>	50 – 500 Km	Os poluentes na forma de partículas finas ( $< 2,5 \mu\text{m}$ de diâmetro, mas não as partículas ultra finas) e alguns poluentes em fase gasosa, como o O <sub>3</sub> , têm um tempo de vida de dias ou mesmo semanas, o que lhes permite serem transportados numa escala regional. Poluentes como partículas de sulfato e O <sub>3</sub> podem facilmente viajar milhares de quilómetros num processo conhecido como transporte de longa distância, atravessando as fronteiras nacionais (WHO, 2005).
<b>Global</b>	Escala planetária	Alguns poluentes, especialmente aqueles associados aos efeitos de estufa (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O e NH <sub>4</sub> ) têm um tempo de vida na atmosfera de anos e são, portanto, capazes de distribuição em todo o hemisfério e, por último, globalmente. Nestes casos, as concentrações são por vezes marginalmente superiores perto das fontes, em relação ao fundo regional, a menos que as fontes emitam grandes quantidades (WHO, 2005).

Como a qualidade de vida humana e dos ecossistemas é influenciada pela qualidade do ar, é necessário proceder à sua gestão definindo políticas e escolher, simultaneamente, os objetivos e os meios que permitam pôr em prática essas políticas. Assim, Portugal, como Estado-Membro da União Europeia, rege-se pela política comunitária e é obrigado a transpô-la para direito interno.

Com o propósito de desenvolver uma estratégia para a melhoria da qualidade do ar através da definição de objetivos a longo prazo, nas últimas décadas foi desenvolvido um conjunto de normas para controlar os níveis de determinados poluentes e controlar as suas concentrações no ar.

Em 1996, foi aprovada a Diretiva-Quadro 96/62/CE, também designada por “Diretiva-mãe”, relativa à avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente que estabeleceu um novo quadro legislativo, definindo os princípios base de uma estratégia comum a ser cumprida por todos os Estados-membros. Os princípios constituídos pela diretiva são o estabelecimento de linhas de orientação a fim de evitar, prevenir ou limitar os efeitos nocivos sobre a saúde humana e sobre o ambiente na sua globalidade, a avaliação da qualidade do ar ambiente nos Estados-membros e a disponibilização de informação sobre

qualidade do ar ao público em geral. Surgiram depois quatro Diretivas-filhas (1999/30/CE, de 22 de Abril, 2000/69/CE, de 16 de Novembro, 2002/3/CE, de 12 de Fevereiro e 2004/107/CE, de 15 de Dezembro) que definiram valores-limite de qualidade do ar e limiares de alerta para poluentes atmosféricos específicos. A harmonização das estratégias de controlo, dos métodos de medição e calibração e dos métodos de avaliação de qualidade para chegar a uma uniformização das medições em toda a EU e assegurar que a informação sobre concentrações é disponibilizada ao público são os objetivos destas diretivas (Figueiredo, 2011).

Em 2008, a Diretiva-Quadro 96/62/CE foi revogada por uma nova Diretiva referente à qualidade do ar ambiente (Diretiva 2008/50/CE). Esta Diretiva agrupa num só documento a legislação estabelecida nas anteriores Diretiva-Quadro e das Diretivas-filhas. A transposição desta diretiva foi efetuada através do Decreto-Lei nº102/2010, de 23 de Setembro, que estabelece o regime de prevenção e controlo das emissões de poluentes para a atmosfera fixando princípios, objetivos, instrumentos, medidas, procedimentos e obrigações dos operadores das instalações ou das outras fontes emissoras abrangidas para garantir a proteção do recurso ar, para evitar ou reduzir a níveis aceitáveis a poluição atmosférica provocada nessas mesmas instalações/fontes emissoras.

Uma das novidades que a diretiva 2008/50/CE implementou foi o regulamento do poluente PM<sub>2,5</sub>, sendo assim obrigatório fazer a sua avaliação. Na tabela 3 encontram-se resumidos os parâmetros estabelecidos legalmente para a gestão da qualidade do ar.

**Tabela 3 – Parâmetros definidos no DL 102/2010, de 23 de Setembro, para as concentrações dos poluentes no ar ambiente.**

Parâmetro	Período considerado	VL +MT (µg/m <sup>3</sup> a 293 °K e 101,3 KPa)
<b>Dióxido de Azoto – NO<sub>2</sub></b>		
<b>Valor limite horário para proteção da saúde humana</b>	1 Hora	200 (Não exceder mais de 18 vezes por ano civil)
<b>Valor limite anual para proteção da saúde humana</b>	Ano civil	40
<b>Limiar de alerta</b>	Base Horária (medido em 3 horas consecutivas)	400
<b>Dióxido de Enxofre – SO<sub>2</sub></b>		
<b>Valor limite horário</b>	1 Hora	350



para proteção da saúde humana	(Não exceder mais de 24 vezes por ano civil)							
Valor limite anual para proteção da saúde humana	Ano civil	125 (Não exceder mais de 3 vezes por ano civil)						
Limiar de alerta	Base Horária (medido em 3 horas consecutivas)	500						
Partículas em Suspensão – PM <sub>10</sub>								
Valor limite horário para proteção da saúde humana	24 Horas	50 (Não exceder mais de 35 vezes por ano civil)						
Valor limite anual para proteção da saúde humana	Ano Civil	40						
Ozono – O <sub>3</sub>								
Limiar de Informação	1 Hora	180						
Limiar de alerta	1 Hora	240						
Valor alvo para proteção da saúde humana (medido a partir de 01/01/2010)	Máximo das médias octo-horárias do dia <sup>(5)</sup>	120 (Não exceder mais de 25 dias por ano civil)						
Objetivo a longo prazo para proteção da saúde humana	Máximo da média diária octo-horária no ano civil <sup>(5)</sup>	120						
Benzeno								
Valor limite anual para proteção da saúde humana	Ano civil	5						
Monóxido de Carbono – CO								
Valor limite para proteção da saúde humana	Máximo diário das médias octo-horárias <sup>(5)</sup>	10 000						
Chumbo – Pb								
Valor limite para proteção da saúde humana	Ano civil	0,5						
Partículas em Suspensão – PM <sub>2,5</sub>								
Limite de concentração de exposição	–	20						
Valor alvo	Ano civil	25						
Valor limite (1ª fase)	Ano civil	25 + MT						
		Margens de Tolerância						
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
		5	4,28	3,56	2,84	2,13	1,42	0,71
Valor limite (2ª fase)	Ano civil	20 <sup>(6)</sup>						

1) *Valor Limite* - nível de poluentes na atmosfera, fixado com base em conhecimentos científicos, cujo valor não pode ser excedido, durante períodos previamente determinados, com o objetivo de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e ou no meio ambiente.

(2) *Valor Alvo* – nível fixado com o objetivo de evitar a longo prazo efeitos nocivos para a saúde humana e ou meio ambiente, a ser alcançado, na medida do possível, num período determinado.

(3) *Limiar de Alerta* – nível de poluentes na atmosfera acima do qual uma exposição de curta duração apresenta riscos para a saúde humana e a partir do qual devem ser adotadas medidas imediatas, segundo as condições fixadas no presente diploma.

(4) *Limiar de Informação* - um nível acima do qual uma exposição de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ou ozono de curta duração apresenta riscos para a saúde humana de grupos particularmente sensíveis da população, a partir do qual é necessária a divulgação imediata de informações adequadas.

(5) A média octo-horária é determinada para períodos consecutivos de 8 horas, calculada a partir de dados horários e atualizada hora a hora. Cada média octo-horária assim calculada será atribuída ao dia em que termina, desta forma, o primeiro período de cálculo para um determinado dia será o período decorrido entre as 17h00 do dia anterior e a 01h00 desse dia; o último período de cálculo será entre as 16h00 e as 24h00 desse dia.

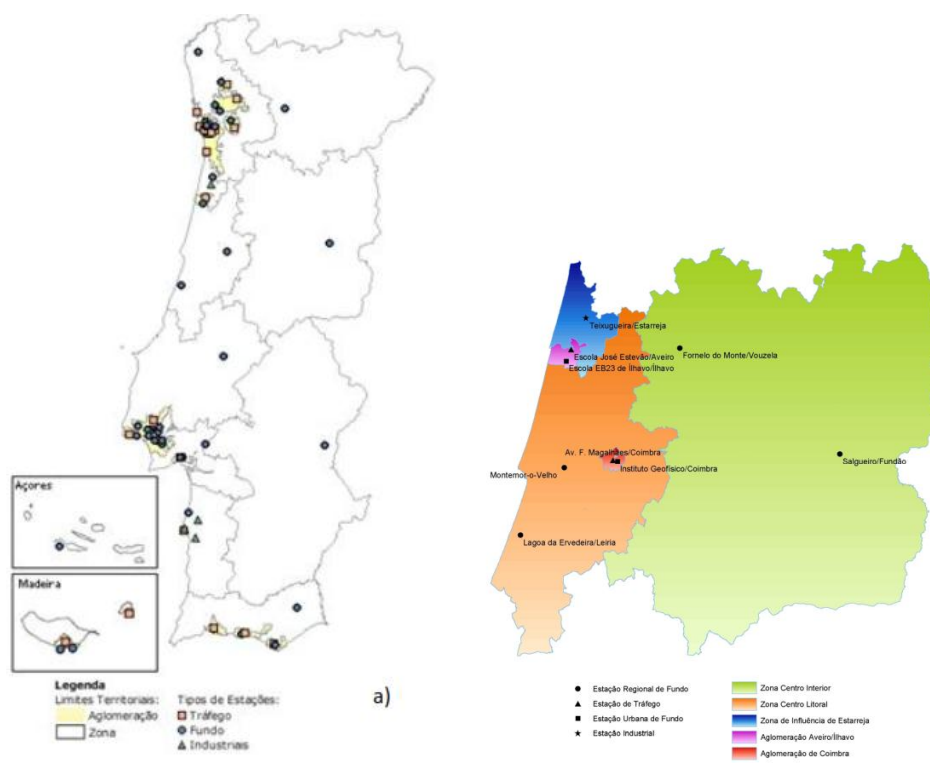
(6) *Valor limite indicativo* a rever pela Comissão em 2013.

Existem três instrumentos importantes de Gestão da qualidade do ar referidos na Diretiva-Quadro da Qualidade do Ar sendo estes inventários de emissões, modelação da qualidade do ar e monitorização. Para obter os dados de qualidade do ar recorre-se a redes de monitorização da qualidade do ar. Estas redes de monitorização promovem medições das concentrações de poluentes ao longo do tempo e monitorização em locais pontuais.

Pela década de noventa a avaliação da qualidade do ar baseava-se nas redes de monitorização desenhadas e construídas de acordo com as suas próprias realidades. No ano de 1996, a Diretiva do Conselho 96/62/CE, instituiu princípios e normas de avaliação e gestão da qualidade do ar, como já descrito anteriormente, sendo a avaliação competência da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e as Comissões de Coordenação e Desenvolvimento (CCDR).

A rede oficial de monitorização nacional de qualidade do ar é constituída por 77 estações sob responsabilidade das CCDR das respetivas áreas. As estações de qualidade do ar podem ser classificadas em função do tipo de ambiente em que estão localizadas (urbanas, suburbanas ou rurais) e em termos de influência das fontes de emissão (tráfego, industrial ou fundo).

Para efeitos de avaliação e gestão da qualidade do ar, em Portugal foram definidas zonas e aglomerações. Na figura 2 está ilustrada a distribuição das estações a nível nacional e na zona centro do país. Os dados de qualidade do ar conseguidos nas estações incorporam uma base de dados nacional com toda a informação e estão disponíveis na base de dados *on-line* sobre qualidade do ar – QualAr.



**Figura 2 - Delimitação das zonas e aglomerações nacionais (a) e da Região Centro (b) e respetivas estações de Monitorização (Lameiras, 2011).**

Os poluentes monitorizados nas estações da qualidade do ar são, sobretudo, poluentes primários como o SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO e partículas.

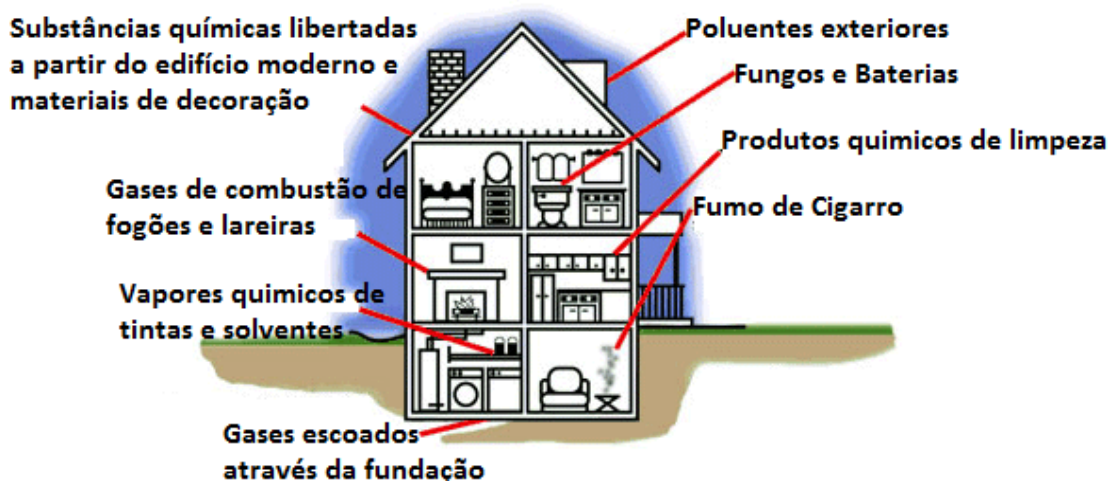
Dependendo da localização e da dimensão da região em análise, os dados de monitorização poderão não ser suficientes para a caracterização da qualidade do ar. Para caracterizar adequadamente todo o território nacional, para além de um conhecimento da composição química da atmosfera, a modelação numérica torna-se numa ferramenta complementar capaz de colmatar a falta de informação sobre o fenómeno de interesse. A modelação da qualidade do ar permite obter a distribuição dos níveis de concentração de poluentes no ar para uma perspetiva mais ampla.

Os modelos numéricos podem ser qualificados de acordo com o objetivo, a escala e o tipo de aplicação. Relativamente ao objetivo de aplicação, os modelos podem ser de diagnóstico ou de prognóstico (Reid, Misra, Amman, & Hales, 2007). Quanto ao tipo de modelo, consideram-se 3 grandes grupos: modelos de dispersão (usados para estimar a concentração de poluentes, em pontos específicos, emitidos por uma ou mais fontes emissoras, considerando apenas a dispersão do poluente e não a sua possível transformação

química.), químicos (são aplicados a escalas espaciais maiores e consideram, para além do transporte e dispersão dos poluentes, os processos de transformação química a eles associados (Monteiro, et al, 2007)) e de recetor (utilizados para estimar a contribuição de diferentes fontes de emissão nas concentrações de poluentes medidas num local recetor (Abhishek & Colls, 2010), assumindo uma relação linear entre emissões e concentrações (Reid et al., 2007)). Quanto à escala, os modelos podem ser utilizados nas três grandes escalas de modelação: a local, a mesoescala e a global.

As preocupações associadas aos efeitos da qualidade do ar na saúde pública não ficam só pelo exterior dos edifícios. As pessoas passam maior parte do seu tempo em ambientes interiores: habitações, transportes, locais de emprego, etc. Nestes espaços, o crescimento de microrganismos, o uso de produtos de limpeza, a existência de materiais ou equipamentos poluentes ou até uma deficiente ventilação são alguns dos colaboradores para que a concentração de poluentes seja mais elevado no interior do que no exterior. Tudo isto promove o aumento dos problemas da qualidade do ar interior.

Nos ambientes interiores, destacam-se inúmeras fontes de poluentes que influenciam os níveis de exposição nesse mesmo local, como se pode verificar pela figura 5:



**Figura 3 - Fontes de poluentes que influenciam os níveis de exposição.**

Fontes interiores como fumo de tabaco, combustão doméstica, fornos de cozinha, utilização de produtos químicos, produtos e equipamentos domésticos ou até os próprios materiais de construção do edifício são fontes de poluentes que comprometem a qualidade

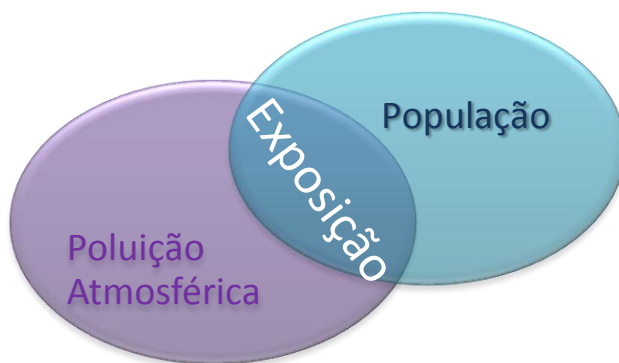
do ar interior, podendo emitir poluentes como monóxido de carbono, dióxido de azoto, partículas e compostos orgânicos voláteis. (WHO, 1999).

Para além disso, é necessário reconhecer que os sistemas de ventilação têm grande influência na taxa de remoção dos poluentes pois quando as janelas estão abertas e a velocidade do vento é moderada, as concentrações dos ambientes interiores aproximam-se dos valores das concentrações no ambiente exterior.

No caso do ozono, os edifícios agem como filtros no seu transporte do exterior para o interior, fazendo com que os valores obtidos no edifício sejam claramente inferiores aos valores obtidos no exterior (Poupard et al, 2005). Para o  $\text{NO}_x$ , a relação entre as concentrações interiores e exteriores é muito próxima da unidade, uma vez que este poluente passa facilmente para o interior dos edifícios (Poupard et al., 2005).

### 2.3 *Exposição Humana*

A partir do momento que os indivíduos estão em contacto direto com um poluente tanto num ambiente exterior como num ambiente interior, os indivíduos estão expostos a esse mesmo poluente através da inalação, ingestão ou absorção pela pele (Duan, 1982; Ott, 1982). Na figura 3 pode-se perceber melhor este conceito, que considera a exposição como a interseção entre a população e a poluição atmosférica. Tendo em conta que ao longo do dia os indivíduos estão expostos a diferentes concentrações, sendo que estas variam temporal e espacialmente e com o deslocamento destes mesmos indivíduos, é necessário que a concentração de um poluente num dado local não seja nula e que, ao mesmo tempo, um indivíduo esteja presente nesse local, estando assim exposto (Ferreira, 2007).



**Figura 4 - Definição de Exposição como sendo a interação entre os campos de concentração numa área e a densidade da população dessa área (WHO, 1999).**

Existem três conceitos importantes que estão ligados à exposição: magnitude, duração da exposição e frequência. A magnitude da exposição está diretamente relacionada com a concentração do poluente em estudo, a duração da exposição indica quanto tempo é que o indivíduo está em contacto (exposto) com essa concentração e a frequência que é a regularidade com que esse tipo de exposição ocorre.

A exposição pode ser determinada por métodos diretos ou métodos indiretos. Os métodos diretos consistem na medição da exposição individual por aparelhos individuais portáteis e os métodos indiretos (modelação) baseiam-se no cálculo da exposição pela combinação de uma serie de informações de concentrações de locais e a ocupação-tempo dos mesmos. Os métodos diretos são mais precisos do que os métodos indiretos, mas são mais demorados, dispendiosos e impraticáveis em estudos que abrangem grandes áreas populacionais. Além disso, pela modelação consegue-se obter resultados tanto para o passado, para o presente ou até mesmo para o futuro.

### 2.3.1 Exposição Exterior e Interior

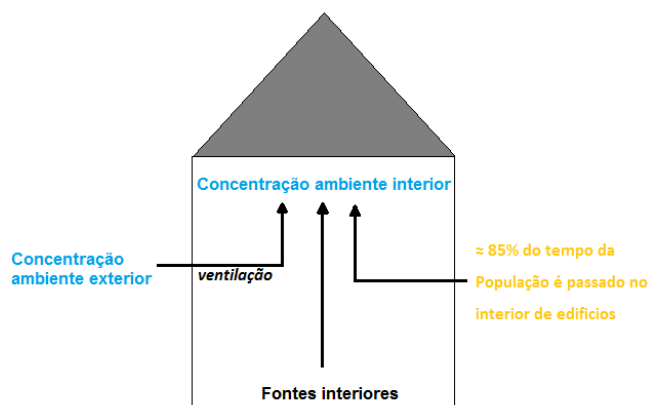
Durante o dia, os indivíduos estão expostos a poluentes atmosféricos tanto em ambientes exteriores como em ambientes interiores. Analisar espaços interiores tem ganho grande importância pois as pessoas passam grande parte do seu tempo em espaços interiores e todas as características desse espaço tem influência na exposição a poluentes.

A população, principalmente a população que reside numa zona urbana, passa mais tempo (cerca de 85%) em ambientes interiores como a própria habitação, escola, escritórios, fabricas, locais comerciais públicos ou administrativos. Além disso, a população desloca-se entre os vários locais utilizando veículos públicos ou particulares aumentando o tempo passado em espaços interiores. Estes vários locais ocupados pela população denominam-se por microambientes. Este conceito foi desenvolvendo e evoluindo para auxiliar na avaliação da exposição. É um espaço onde as concentrações dos poluentes em estudo são suficientemente homogêneas, ou seja, é considerado um “espaço tridimensional onde o nível de poluente num dado instante é uniforme ou apresenta propriedades estatísticas constantes”(Castro, Gouveia, & Escamilla-Cejudo, 2003).

O microambiente onde os indivíduos passam mais tempo do seu dia é a habitação, sendo que dois terços do tempo da população é passado em casa. O local de trabalho é o segundo

microambiente onde a população passa mais tempo tendo em conta que a maioria da população é empregada e exerce algum tipo de atividade profissional.

Tal como já foi referido ao longo desta dissertação, em ambientes exteriores os valores de concentração de poluentes atmosféricos são resultantes de fontes naturais e antropogénicas mas relativamente à concentração dos poluentes no interior, estas dependem das características do edifício e da atividade que é desenvolvida nesse mesmo imóvel (figura 4).



**Figura 5 - Relação entre a concentração ambiental e a exposição efetiva, tendo em conta que as pessoas passam maior parte do tempo no interior (WHO, 1999).**

Vários estudos já realizados têm como objetivo estabelecer as relações entre o exterior e o interior dos edifícios através de medições nesses mesmos locais, como em escolas (Poupard et al., 2005), espaços de lazer e/ou profissionais (Chau *et al*, 2002). Depois de encontrados os fatores e relações empíricas, consegue-se determinar as prováveis relações. Através de dados experimentais obtidos em estudos realizados recorre-se a aproximações empíricas para estimar as concentrações dos poluentes atmosféricos em ambientes interiores edifícios (Burke, Zufall, & Ozkaynak, 2001; Gulliver & Briggs, 2007; USEPA, 2001; Wu et al., 2005), sendo um bom exemplo a demonstração de Dockery e Spengler [1981] em que a concentração média de um poluente estável durante um determinado período de tempo está relacionada com a concentração do exterior através da seguinte expressão:

$$C_{int} = mC_{ext} + b \quad (\text{equação 1})$$

Em que:

$$m = \frac{P \cdot A}{(A + k)} \quad (\text{equação 2}) \quad \text{e} \quad b = \frac{S}{(V(A + k))} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

- $m$  – fator de infiltração do poluente, traduz a relação interior/exterior na ausência de fontes emissoras no interior;
- $b$  – contribuição das fontes emissoras no ambiente interior;
- $P$  – fator de penetração do poluente ( $0 \leq P \leq 1$ );
- $A$  – taxa de ventilação [ $T^{-1}$ ];
- $k$  – taxa de deposição no interior [ $T^{-1}$ ];
- $V$  – volume interior [ $L^3$ ];
- $S$  – taxa de emissão de fontes interiores [ $L^3.T^{-1}$ ].

(unidades  $MLT$  – massa, comprimento, tempo)

### 2.3.2 Cálculo da Exposição

Quando a concentração de um poluente ao qual um indivíduo está exposto e o período de tempo de contacto são conhecidos, é possível determinar a exposição. Mas quando a concentração varia ao longo do tempo, a exposição é dada pela seguinte expressão:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} C(t) dt \quad (\text{equação 4})$$

Normalmente assume-se que a concentração de um poluente é constante num determinado microambiente  $j$  para um período de tempo  $T_{ij}$ . Assim, a exposição num microambiente é definido por:

$$e_j = C_j * \Delta t_j \quad (\text{equação 5})$$

Então a exposição total é a exposição que um determinado indivíduo está exposto ao poluente num determinado intervalo de tempo, tendo em conta todos os locais e atividades nele inseridos:

$$E_i = \sum_{j=1}^J e_j = \sum_{j=1}^J C_j * t_{ij} \quad (\text{equação 6})$$



em que  $E_i$  é a exposição total do indivíduo  $i$  durante o período de tempo específico,  $C_j$  é a concentração de poluente no microambiente  $j$ ,  $t_{ij}$  é o tempo de permanência do indivíduo  $i$  no microambiente  $j$ , e  $J$  é o número total de microambientes.

Para calcular a exposição total de uma população  $I$ , faz-se o somatório todas as exposições individuais como apresentado na expressão:

$$\begin{aligned} E_{pop} &= \sum_{i=1}^I E_i = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_j * t_{ij} = I \sum_{j=1}^J C_j * t_j = \\ &= \sum P_j * (C_i * T_{ij}) \end{aligned} \quad (\text{equação 7})$$

Em que:

- $E$  – Exposição total;
- $P_j$  – População do grupo  $j$ ;
- $C_i$  – Concentração no microambiente  $i$ ;
- $T_{ij}$  – Tempo que o grupo  $j$  passa no microambiente  $i$ .

A partir desta expressão, verifica-se que, para o cálculo da exposição populacional, é necessário conhecer a concentração de um determinado poluente num microambiente, a distribuição da população nesses mesmos microambientes, como os microambientes se distribuem na área em estudo e os padrões de atividade-tempo, que descrevem os vários ambientes visitados por um grupo de indivíduos e a fração de tempo passada nesses ambientes durante um dia.

### 2.3.3 Modelação da Exposição

Face às limitações da medição direta da exposição, a modelação constitui uma ferramenta apropriada para a determinação da exposição individual ou populacional.

A modelação é um processo mais barato e mais rápido, consegue fornecer resultados para grandes grupos populacionais e para vários cenários temporais diferentes tornando-se, assim, um processo muito mais vantajoso que a monitorização.

Os modelos de exposição podem ser aplicados a várias escalas espaciais (um país, uma região ou até uma área específica – zona urbana) e temporais, sendo que a exposição é considerada como uma variável contínua ou integrada no tempo.

Os modelos de exposição podem ser aplicados em estudos epidemiológicos, análise de risco e avaliação da eficácia das políticas ambientais de gestão de risco. Os estudos epidemiológicos analisam os padrões de uma doença e a sua distribuição na população humana, podendo assim determinar quais as causas e perceber qual é a relação entre a exposição do indivíduo a um agente ambiental e a doença; análise de risco é necessária para a tomada de decisão sobre a gestão de risco e a avaliação da eficácia das políticas ambientais de gestão de risco utiliza os modelos de exposição humana como ferramentas importantes para as tomadas de decisão.

Para que as decisões políticas sejam tomadas de uma forma coerente e com a finalidade de diminuir todos os riscos de saúde, a modelação da exposição humana é destinada principalmente a um largo número de pessoas de uma determinada escala percebendo assim o número total de pessoas em risco.

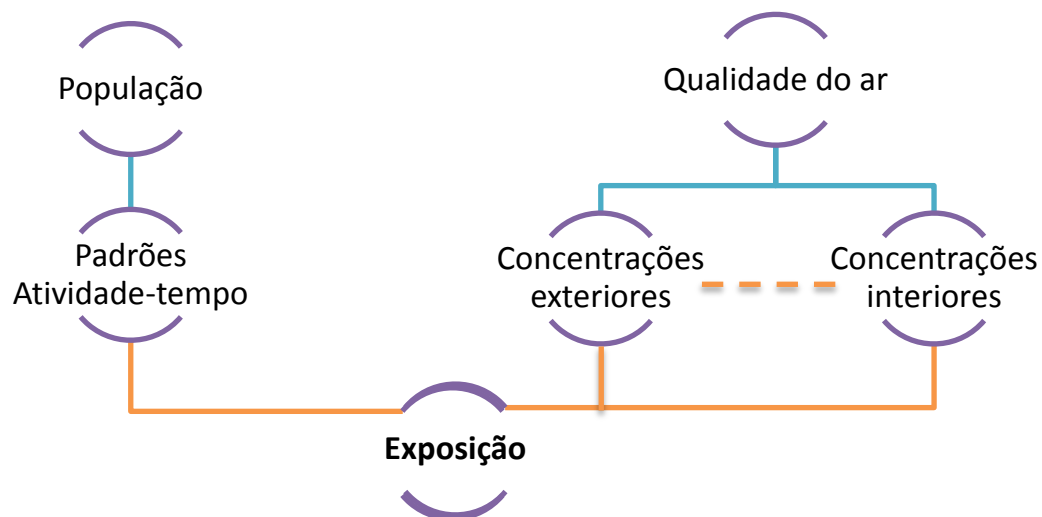
Existem vários tipos de modelos de exposição conforme a sua estrutura e formulação, como descrito na tabela 4:

**Tabela 4 – Tipos de modelos de Exposição** (Organization, 2005).

	Mecanicistas	Empíricos
<b>Determinísticos</b>	Construções matemáticas de processos físico-químicos que calculam saídas fixas para um conjunto fixo de entradas.	Modelos estatísticos baseados em valores de entradas e saídas medidos (i.e. modelos de regressão que relacionam concentrações atmosféricas e níveis de um poluente no sangue ou concentrações ambientais de um poluente com exposições individuais)
<b>Estocásticos</b>	Construções matemáticas de processos físico-químicas que calculam gamas ou distribuições de densidade de probabilidade de uma saída de um modelo de exposição (i.e. estimativa de exposições individuais para uma população em estudo).	Baseados em modelos de regressão, onde as variáveis e coeficientes do modelo são definidos por distribuições de probabilidade, representando a variabilidade e/ou incerteza nas entradas e parâmetros do modelo.

Os modelos de exposição são, então, instrumentos computacionais adequados a simular cenários e processos reais de exposição humana. Apesar disso, a modelação têm algumas desvantagens relativamente às várias considerações que ficam pendentes neste tipo de processo, como por exemplo a concentração de um determinado microambiente é assumida como constante enquanto o indivíduo está presente, ou até mesmo o número de microambientes é limitado a um número pequeno para que possa haver uma maior simplificação do estudo e menores variações.

Para desenvolver um modelo de exposição é necessário conhecer as atividades de cada microambiente, modelos de atividade-tempo que fornece as sequências e distribuições do tempo e as atividades que os indivíduos passam nesse mesmo microambiente. Ao conhecer todas estas variáveis, estes podem ser interligados com os modelos de distribuição das concentrações de poluentes conseguindo assim prever uma estimativa para a distribuição da exposição (Organization, 2005).



**Figura 6 - Esquema representativo dos fatores de influência na Exposição.**

Para calcular a exposição (figura 6) é necessário ter em conta as características da população e a qualidade do Ar da região. Para caraterizar a população utiliza-se os padrões de atividade-tempo, descrevendo o tempo e o local em que os indivíduos estiveram presentes. Outro fator importante para o cálculo da exposição, são os dados de qualidade do ar. As concentrações exteriores podem ser obtidas através de monitorização ou modelação e as concentrações interiores podem ser obtidas através de medições ou

relações empíricas. Através destes dados e tendo em conta o microambiente e o grupo de população em análise, calcula-se a exposição.

Os padrões de atividade-tempo da população e a concentração de poluentes em cada microambiente definido são fatores importantes para calcular a exposição, sendo que podem sofrer influência relativamente à época do ano e ao período de tempo pretendido e características da população (faixa etária, localização geográfica da atividade profissional e lazer, situação socioeconómica, etc).

A precisão dos modelos de exposição depende bastante do número de microambientes necessários para realizar o registo da variação das concentrações dos poluentes em estudo e para caracterizar os padrões de atividade-tempo da população alvo. Caso as atividades ou as concentrações não variarem muito nos diferentes lugares que o indivíduo visita ao longo de um dia, então torna-se suficiente um número reduzido de microambientes para calcular a exposição (WHO, 1999).

Para a escolha do modelo é necessário ter em conta determinados fatores como:

- Simplicidade matemática;
- Simplicidade computacional;
- Consistência;
- Exatidão;
- Acessibilidade a dados de entrada e variáveis.

### *2.4 Dose e Efeitos na Saúde*

Quando um indivíduo respira, absorve uma quantidade de material que fica depositado no corpo, ou seja, há a passagem do poluente através de uma fronteira, neste caso o corpo humano, a isto chama-se dose. A dose é diferente de indivíduo para indivíduo, depende da sua idade, condição física ou do grupo de risco (criança, idoso ou doente).

Dependendo da dose a que um indivíduo está exposto surge o efeito na saúde manifestando-se no organismo do indivíduo e interferindo no funcionamento normal do organismo.

Esta relação dose resposta varia com o poluente, a sensibilidade individual e tipo de efeito na saúde. Pode-se verificar então que esta relação para um dado poluente descreve a

associação entre a exposição e a resposta observada, ou seja, estima como é que diferentes níveis de exposição a um poluente alteram a intensidade do efeito na saúde.

A exposição humana à poluição atmosférica pode trazer graves consequências para saúde, especialmente nos centros urbanos onde existe uma maior concentração de poluentes devido às fracas condições de dispersão e à grande densidade de fontes poluidoras. Tudo isto promove a degradação acelerada da qualidade do ar e do ambiente.

Os efeitos dos poluentes atmosféricos variam em função do poluente, do tempo de exposição e das concentrações no local de estudo. Tendo em conta esta informação, torna-se importante referir que pode haver efeitos crónicos (relacionados com uma exposição mais prolongada no tempo a níveis baixos de poluição) ou agudos (traduzem uma exposição a altas concentrações de um determinado poluente num certo espaço de tempo). O Comité da Sociedade Torácica Americana identificou um vasto conjunto de efeitos crónicos e agudos na saúde devido à poluição do ar ao nível torácico.

A figura 7 mostra que a frequência da ocorrência de efeitos na saúde é inversamente proporcional com a gravidade do efeito, sendo então possível afirmar que os efeitos mais severos se dão com menor frequência na população afetada, enquanto que os efeitos menos severos se conseguem notar com maior frequência na população.



**Figura 7 – Pirâmide representativa da severidade dos efeitos na saúde humana tendo em conta a proporção da população** (European Environment Agency, 2013).

A grande preocupação em torno da poluição atmosférica prende-se então com a acumulação de determinados poluentes no organismo humano, prejudicando a saúde e o bem-estar do indivíduo.

---

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região escolhida para desenvolver o estudo do presente trabalho é o concelho de Estarreja. Apresenta-se, de seguida, a sua caracterização geográfica, socioeconómica, transportes e vias de comunicação, climatologia, emissões atmosféricas e qualidade do ar.

#### *3.1 Caracterização geográfica*

O Concelho de Estarreja faz parte da Região Centro do país, situando-se na zona litoral centro da região de Aveiro, sendo os vários concelhos vizinhos: Ovar, a Norte, Murtosa, a Poente, e a Nascente Oliveira de Azeméis e Albergaria-a-Velha. É formado por 7 freguesias: Avanca, Beduído, Canelas, Fermelã, Pardilhó, Salreu e Veiros, tendo uma área total de 108.11 Km<sup>2</sup> e a sede do Concelho situa-se na freguesia de Beduído (Figura 8) (SMPC, 2006).

Estarreja tem cerca de 26997 habitantes (Instituto Nacional de Estatística, 2012) e uma densidade populacional de 248,4 Hab.Km<sup>-2</sup>.

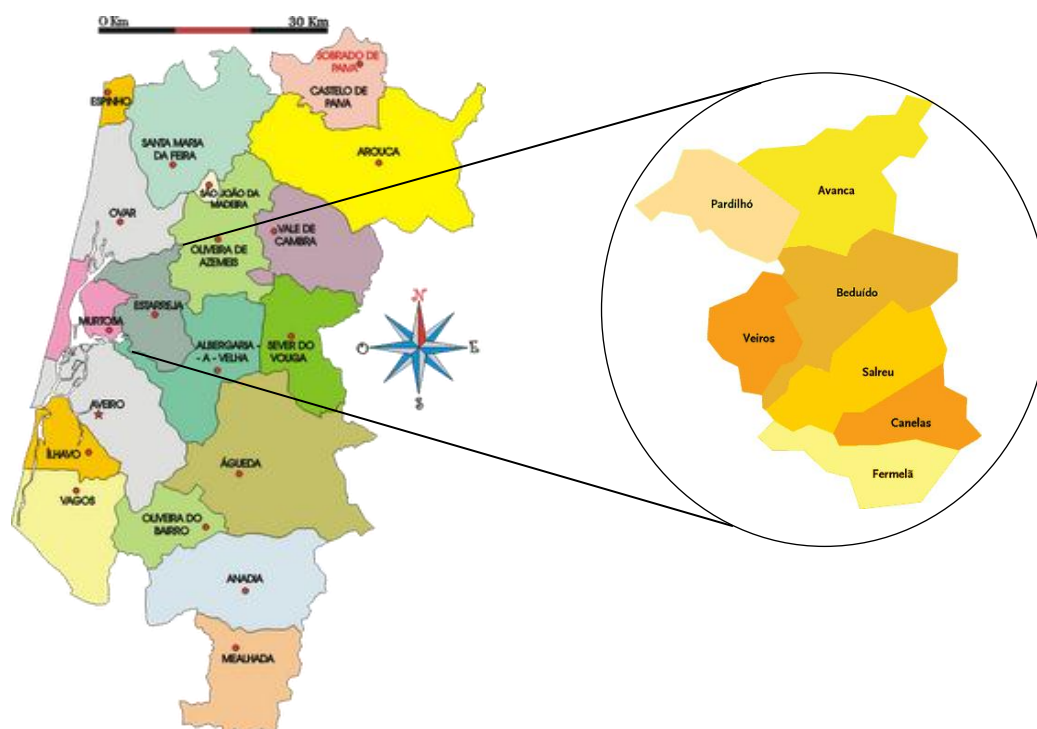


Figura 8 – Mapa do distrito de Aveiro com destaque do concelho de Estarreja.

Relativamente à topografia da região de Estarreja, não se verificam grandes variações altimétricas, como pode ser observado na figura 9. Apenas as zonas de vale de algumas linhas de água são um pouco acidentados morfologicamente, mostrando as encostas bem protegidas por floresta. Segundo estudos prévios do Plano Diretor Municipal (PDM) de Estarreja (1988/1989), a carta hipsométrica distingue três zonas: Zona Baixa, Zona Intermédia e Zona Alta (Figueiredo, 2011). A Zona Baixa (com níveis inferiores a 10 metros) localiza-se em parte das freguesias de Pardilhó, Beduído, Veiros, Fermelã, Salreu e Canelas. É nesta zona do concelho de Estarreja que se encontram as áreas húmidas, enquadrando-se nas margens da Ria de Aveiro. Esta zona é pouco ocupada pela população; a Zona Intermédia (com níveis que variam aproximadamente entre os 10 e os 50 metros), inclui parte de todas as freguesias do concelho. Esta é uma zona essencialmente agrícola e já possui alguns aglomerados habitacionais; a zona Alta (com níveis superiores a 50 metros), integra parte das freguesias de Avanca, Beduído, Salreu, Fermelã e Canelas. Esta zona é essencialmente constituída por floresta, com exceção da parte de alta de Salreu, onde se encontra localizada uma mancha de terrenos com elevado potencial e uso agrícola (SMPC, 2006).



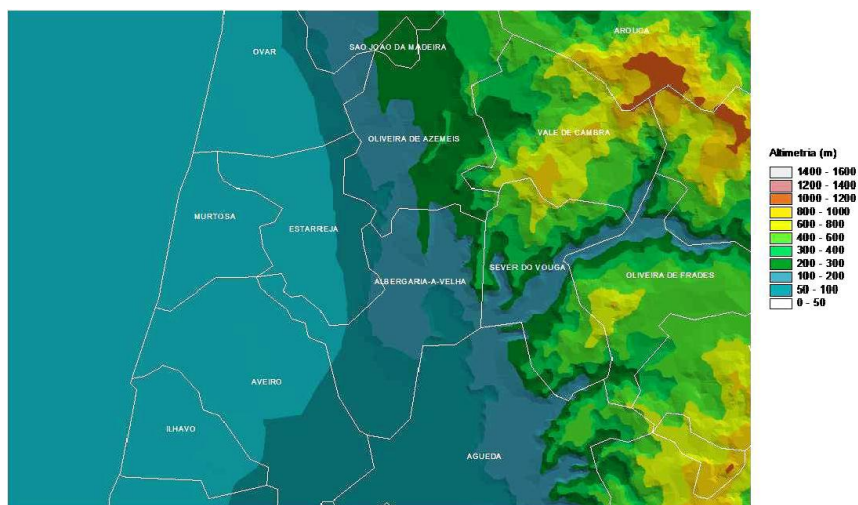


Figura 9 - Valores de altimetria para a região de Aveiro.

### 3.2 Caracterização socioeconómica

A população do concelho de Estarreja, está mais concentrada nas freguesias do Norte do que do Sul, 66 % da população residente está presente nas freguesias de Avanca, Beduido e Pardilhó. Este facto poderá ter sido originado pelo desenvolvimento industrial notável nestas freguesias e também o acesso facilitado.

A figura 10 apresenta a evolução da população residente, por freguesia, de 1991 a 2011 de acordo com os Censos. Verifica-se um crescimento da população de 1991 a 2001 na região cerca de 5,1%, destacando as freguesias de Beduido (13,6%) e de Veiros (19,2%) e, entre o ano de 2001 e 2011, uma ligeira diminuição de 4,4%, destacando-se a freguesia de Fermelã com uma diminuição da população de 11,3% (Instituto Nacional de Estatística, 2012).

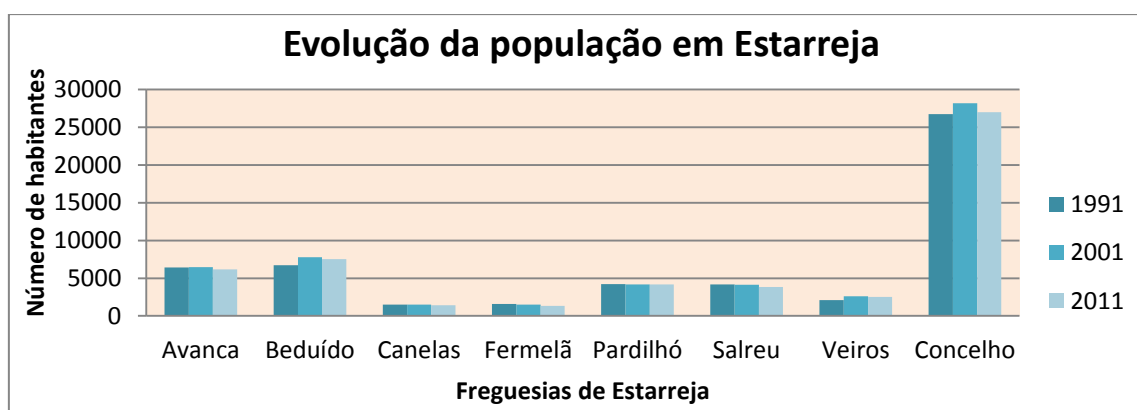
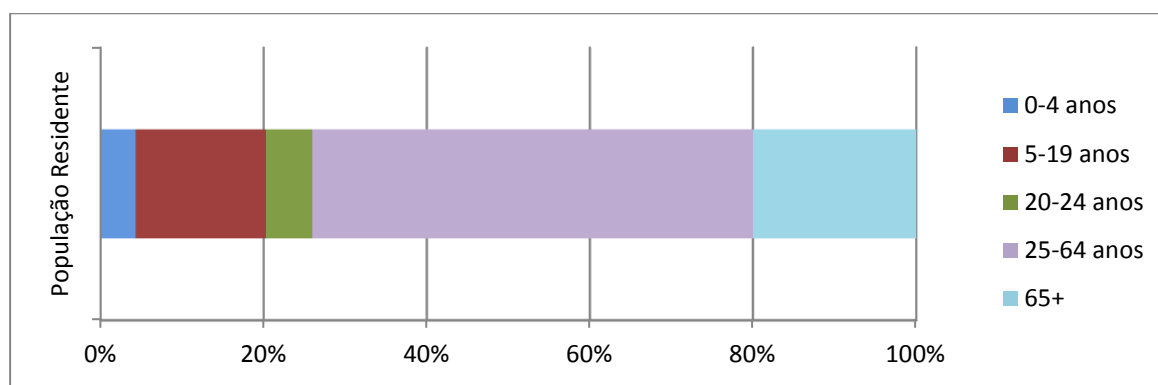


Figura 10 - População residente nas freguesias do concelho de Estarreja em 1991, 2001 e 2011.

## Caraterização da Área de Estudo

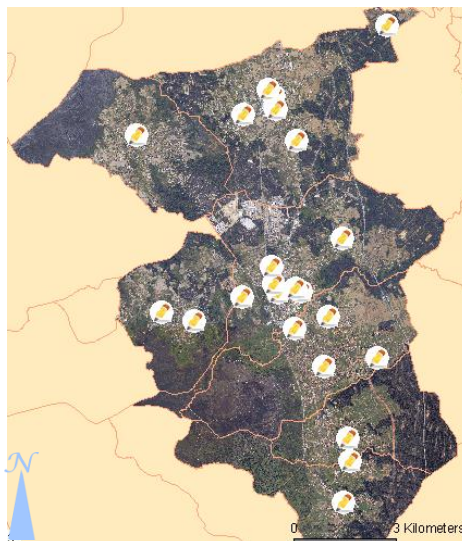
A freguesia de Beduído, onde se localiza a cidade de Estarreja e sede de concelho, é a freguesia com maior número de habitantes completando cerca de 28% da população total do concelho. Já as freguesias de Salreu, Canelas e Fermelã, freguesias do sul do concelho, que contêm maiores caraterísticas rurais, centralizam 24,4 % da população total residente do concelho.

Em termos de distribuição da população residente no concelho de Estarreja a nível etário, a figura 11 apresenta a forma como a população se distribui nas várias faixas etárias relativamente ao ano de 2011. O grupo etário dos 25 aos 64 anos engloba mais de 50% da população total do concelho.



**Figura 11 - Distribuição das várias faixas etárias para o ano de 2011 (INE, 2012).**

No município de Estarreja, existem 30 estabelecimentos de educação e ensino distribuídos por 4 agrupamentos: Agrupamento de Escolas de Avanca – Prof. Dr. Egas Moniz, Agrupamento de Escolas de Pardilhó, Agrupamento de Escolas de Estarreja (inclui as freguesias de Beduido, Canelas, Fermelã, Salreu e Veiros) e Escola Secundária de Estarreja. As escolas estão distribuídas conforme o mapa da figura 12:



**Figura 12 - Distribuição das escolas no concelho de Estarreja.**

Na totalidade, estão inscritos nas escolas dos 4 agrupamentos 4311 indivíduos que correspondem à faixa etária dos 5 aos 19 anos, representando cerca de 16% da população.

Para o desenvolvimento da região, a atividade económica é um dos pontos mais importantes para a promoção de um melhoramento de Estarreja tanto a nível económico como social. Neste município e pelos dados dos Censos 2011, a população dos 25 aos 64 anos divide-se em empregados, tendo em conta os três sectores de atividade, e população sem atividade económica. Relativamente à população empregada, verificou-se um menor número de indivíduos a laborar no sector primário do que no sector secundário e terciário. Esta situação deve-se a uma libertação por parte da população pelos trabalhos agrícolas, crescendo um interesse pela indústria local como Industrias Metalúrgicas de Base e Produtos Metálicos e Industrias Alimentares, de Bebidas e de Tabaco.

A produção de produtos químicos e fibras sintéticas ou artificiais transformou-se num dos ramos dominadores da oferta de emprego no concelho, sendo, neste momento, o ramo mais desenvolvido e importante na economia de Estarreja (Figura 13) (SMPC, 2006).

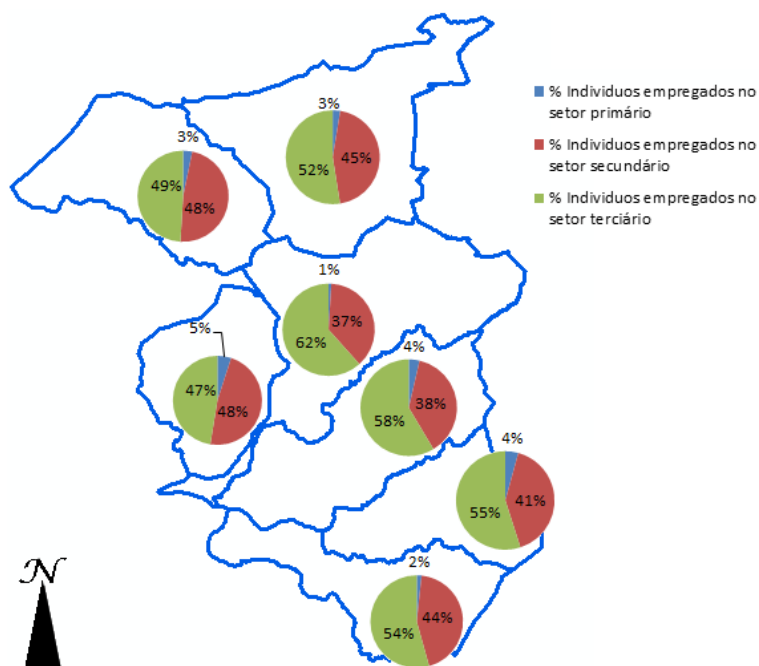


Figura 13 - Distribuição da população do concelho de Estarreja pelos vários setores de atividade.

Este desenvolvimento começou na década 30, onde no concelho começou a surgir a instalação de algumas empresas industriais, tornando esta região numa das mais importantes da indústria química portuguesa. O Complexo Químico de Estarreja, que está localizado a Norte da cidade de Estarreja (figura 14), sofreu grandes evoluções ao longo do tempo sendo composto, hoje em dia, por várias unidades industriais nos diversos prismas da indústria química: *CUF-QI*, produtora de produtos químicos orgânicos e inorgânicos (cloro-alcalis, anilina derivados); *Air Liquide*, fabricante de gases para a indústria, saúde e ambiente; *AQP*, produtos inorgânicos de base; a *Dow*, produtora de produtos poliuretanos e a *CIRES*, produtora de materiais termoplásticos.



Figura 14 - Localização do Complexo Químico de Estarreja.

### 3.3 Transportes e Vias de Comunicação

O concelho de Estarreja tem uma rede rodoviária bastante diversificada destacando-se a autoestrada A1 (Lisboa-Porto), A29 (Porto-Avanca), a E.N. 109 (Porto-Leiria) e a linha ferroviária do norte. Nas vias designadas a cima, há uma grande afluência de tráfego e, por este motivo, uma grande contribuição para as emissões atmosféricas no concelho.

Para além destas, Estarreja é percorrido por linhas aéreas nacionais e internacionais de aproximação a aeroportos (Aeroporto de Sá Carneiro) e aeródromos (aeródromos de Maceda e de S. Jacinto).

### 3.4 Caracterização climatológica

O Clima da região de Estarreja é classificado como um clima temperado húmido, tendo como estação seca a primavera. Tendo em conta a monitorização climatológica realizada nas proximidades do local em estudo (dados do Instituto de Meteorologia, na Estação Climatológica da Universidade de Aveiro - estação nº 102/702; localização: latitude: 40°38'N, longitude: 08°39'W e altura: 5m), entre os anos de 1981 e 2010, a média das temperaturas médias mensais é de 15,4°C e precipitação média anual de 75,5 mm, como está representado na figura 15.

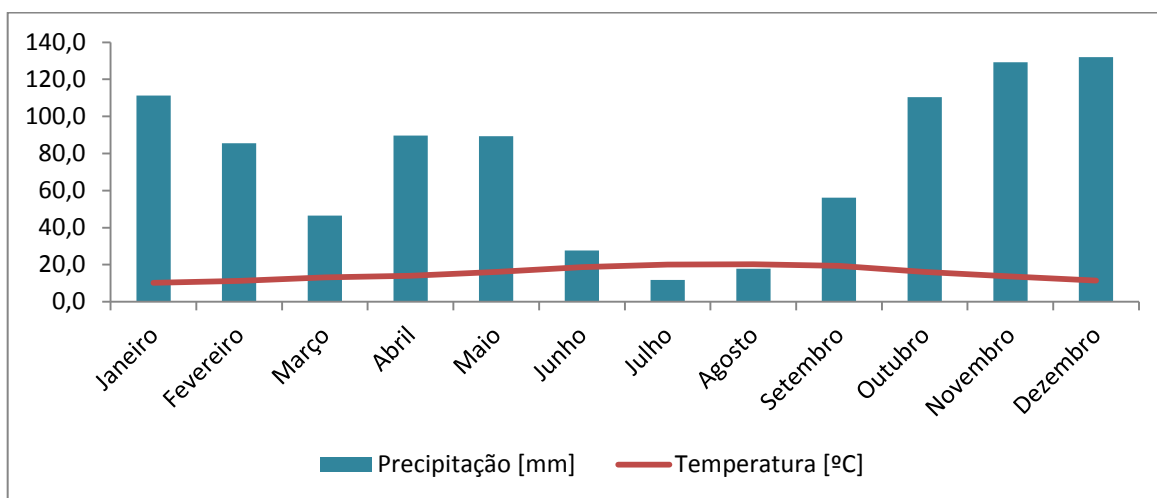


Figura 15 - Dados de temperatura e precipitação para o concelho de Aveiro.

## Caraterização da Área de Estudo

Para além disto, é uma região caracterizada por nevoeiros vindos da região oceânica (em média com 31,2 dias no ano e com uma frequência de 8.5%) devido às massas de ar continental quente se deslocarem sobre o mar, decorrendo principalmente de madrugada.

A figura 16 apresenta as rosas-dos-ventos para as 9h e as 15h (SMPC, 2006).

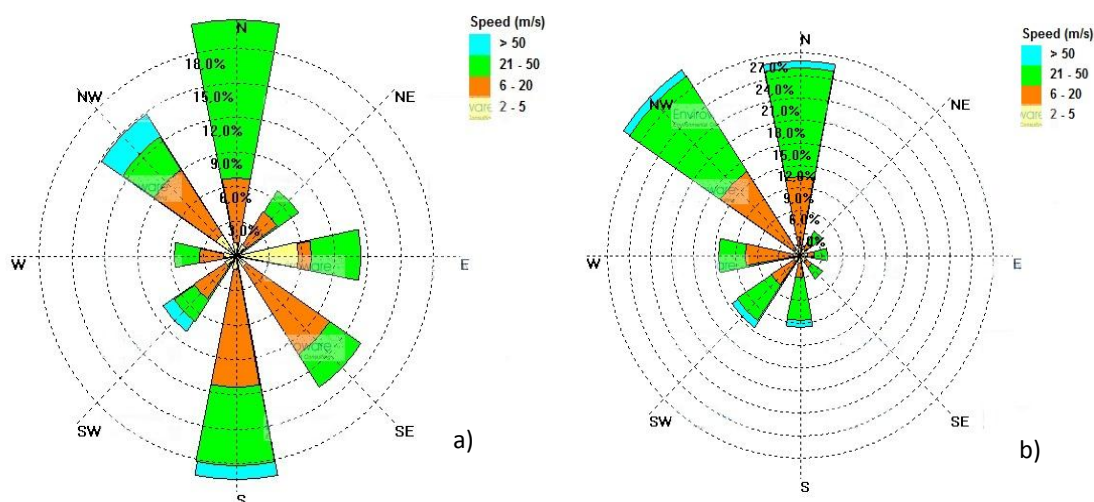


Figura 16 - Rosa-dos-ventos com valores de frequência e de velocidades dos ventos às 9h (a) e às 15h (b) no concelho de Estarreja.

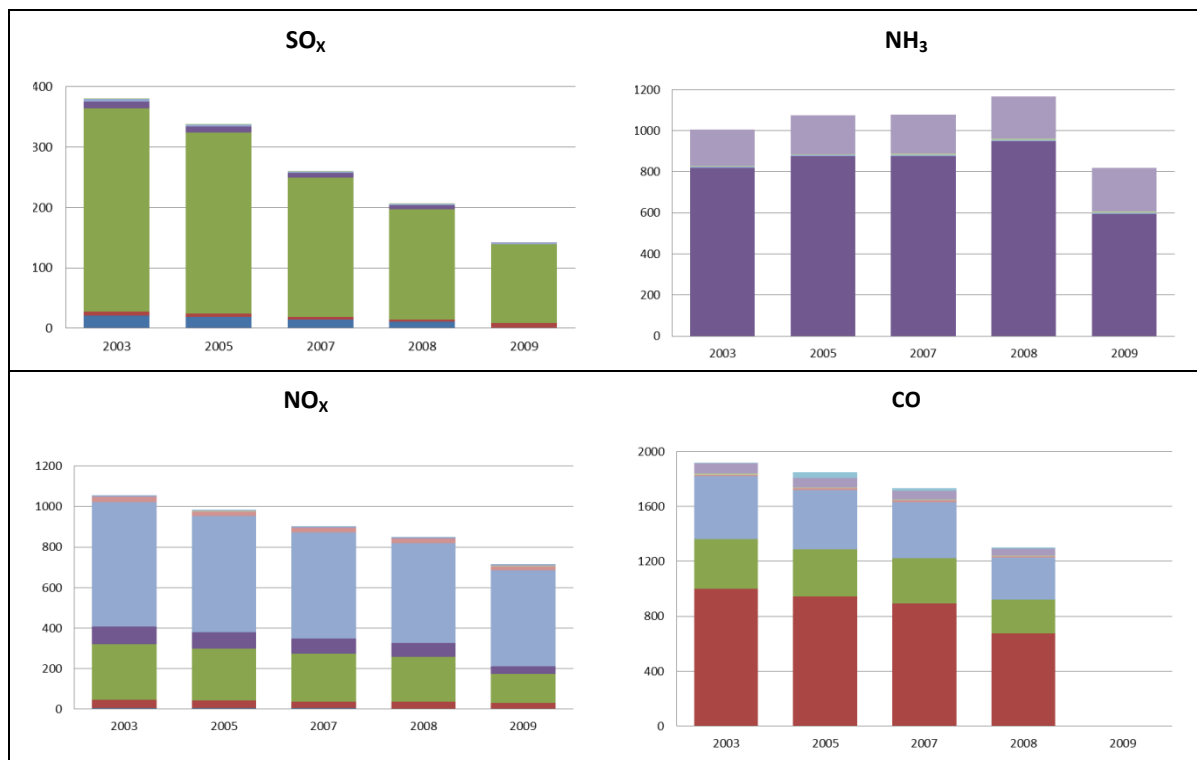
Pode verificar-se que há uma grande incidência de ventos vindos de Norte e de Sul, às 9h (figura 16a)), com velocidades compreendidas entre 21 e 50 m/s, havendo algumas rajadas com velocidades a 50 m/s vindas de Noroeste. Já às 15h (figura 16b)), grande parte dos ventos predominantes vem de Norte e de Noroeste, com velocidades compreendidas entre 21 e 50 m/s.

### 3.5 Emissões e Qualidade do Ar

Uma das ferramentas de apoio à avaliação e gestão da Qualidade do Ar, tanto a nível nacional como a nível regional, são os inventários de emissões. Através deste instrumento é possível analisar a quantidade, natureza e localização das emissões que ocorrem num determinado local e num determinado período de tempo. Os resultados dos inventários permitem colocar em evidência os setores de atividade e os locais responsáveis pelas maiores emissões de poluentes para a atmosfera e avaliam a sua contribuição respetiva para a Qualidade do Ar, auxiliando na seleção de estratégias de redução de poluentes.

Através do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas é possível caraterizar as emissões da região de Estarreja. A figura 17 apresenta a evolução das emissões dos vários poluentes ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ , CO, COVNM e PM10) nos anos de 2003, 2005, 2007, 2008 e 2009 [URL 3]. Os setores em análise são:

- Combustão na indústria energética e de transformação;
- Combustão comercial, institucional e residencial;
- Combustão industrial;
- Processos de produção;
- Extração e distribuição de combustíveis fósseis;
- Uso de solventes;
- Transportes rodoviários;
- Outras fontes móveis e maquinaria;
- Tratamento e destino final de resíduos;
- Agricultura;
- Natureza.





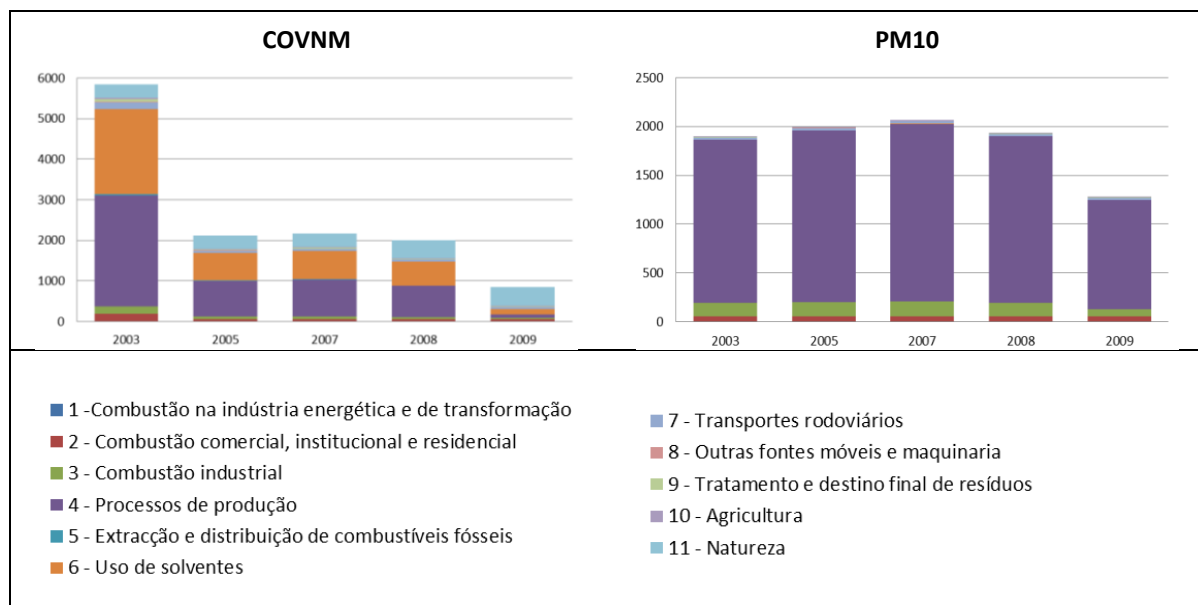


Figura 17 - Evolução dos poluentes  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ , COVNM e  $\text{PM}_{10}$  [URL 3].

Pela figura 17, é possível averiguar que entre ano 2003 e 2009 as emissões de  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{CO}$  diminuíram. Relativamente ao  $\text{NH}_3$  e  $\text{PM}_{10}$  na região nota-se um aumento até aos anos de 2008 e 2007, respetivamente, e uma diminuição a partir dessas datas. Em Estarreja, os compostos orgânicos voláteis – não metano (COVNM), ao longo dos anos, têm vindo a sofrer maior diminuição de emissão.

O sector que mais contribui para a emissão de  $\text{SO}_x$  é o sector de combustão industrial sendo que em 2003 atingiu  $336,57 \text{ ton.km}^{-2}$  seguido do sector de combustão na indústria energética e de transformação com  $21,44 \text{ ton.km}^{-2}$ . Este padrão de comportamento mantém-se ao longo dos anos atingindo em 2009 o valor de  $130,05 \text{ ton/km}^2$  para o setor de combustão industrial.

O sector processos de produção é o que contribui mais para as emissões de  $\text{NH}_3$  e  $\text{PM}_{10}$ . Este sector contribuiu em 2003, para as emissões de  $\text{NH}_3$ , com  $819,31 \text{ ton.km}^{-2}$  atingindo o valor mais alto de emissão em 2008 com  $949 \text{ ton.km}^{-2}$ . Em 2009, houve uma queda nestas emissões por parte deste sector atingindo o valor de  $594,4 \text{ ton.km}^{-2}$ . Relativamente à emissão de  $\text{PM}_{10}$ , este sector em 2003 contribui com  $1672,63 \text{ ton.km}^{-2}$  atingindo o pico de emissão no ano de 2007 com  $1818,99 \text{ ton.km}^{-2}$ . A partir desse ano, as emissões diminuíram atingindo em 2009 o valor de  $1120,45 \text{ ton.km}^{-2}$ .

Relativamente à emissão de  $\text{NO}_x$ , o sector dos transportes é o que mais contribuiu, seguido dos sectores da combustão industrial e o sector de processos de produção. Para este



poluente, nota-se que as emissões têm vindo a diminuir, sendo que o maior contribuidor (sector dos transportes rodoviários) passou de uma emissão de 611,89 ton.km<sup>-2</sup>, em 2003, para 473,87 ton.km<sup>-2</sup>, em 2009.

Para as emissões de CO, não foi possível analisar o ano de 2009 devido à falta de dados só podendo analisar a evolução das emissões entre os anos de 2003 e 2008. Para este poluente, o sector que mais contribuiu para as emissões foi o grupo da combustão comercial, institucional e residencial atingindo em 2003 o valor de 998,17 ton.km<sup>-2</sup>, seguido do sector de combustão industrial com valores de emissão de 364,16 ton.km<sup>-2</sup> em 2003 e do sector de transportes rodoviários com o valor de 458,22 ton.km<sup>-2</sup> em 2003. Em 2008, nota-se uma diminuição nos valores de emissão de CO mas os sectores que mais contribuíram para a emissão de CO continuam a ser o grupo da combustão comercial, institucional e residencial atingindo o valor de 673,91 ton.km<sup>-2</sup>, seguido do sector de combustão industrial com valores de emissão de 245,86 ton.km<sup>-2</sup> e do sector de transportes rodoviários com o valor de 309,37 ton.km<sup>-2</sup>.

Em relação ao COVNM, todos os sectores analisados contribuem para a emissão destes poluentes. Em 2003, ano de maior emissão de COVNM, foi o setor de processos de produção atingindo um valor de 2731,46 ton.km<sup>-2</sup>, seguido do sector de uso de solventes com 2098,54 ton.km<sup>-2</sup> e sector de fontes naturais com 331,54 ton.km<sup>-2</sup>. Em 2009, registaram-se valores consideravelmente mais baixos, com maior contribuição de fontes naturais (452,12 ton.km<sup>-2</sup>), seguido do uso de solventes (130,33 ton.km<sup>-2</sup>).

As emissões de poluentes associados às condições de emissão e condições meteorológicas, contribuem para a diferente distribuição das concentrações de poluentes na atmosfera. Estas concentrações podem ser obtidas através de modelos de qualidade do ar ou através de estações de monitorização da qualidade do ar. Em Estarreja, até 2005, foram mantidas duas estações de qualidade do ar: uma em Avanca e outra na Texugueira (Figura 18). A partir do dia 13/04/2005 só a estação da qualidade do ar na Texugueira se encontra ativa. Esta estação de monitorização está a cargo da CCDR (Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional) da região centro, localiza-se a sul do complexo industrial e é classificada como suburbana industrial.

## Caraterização da Área de Estudo

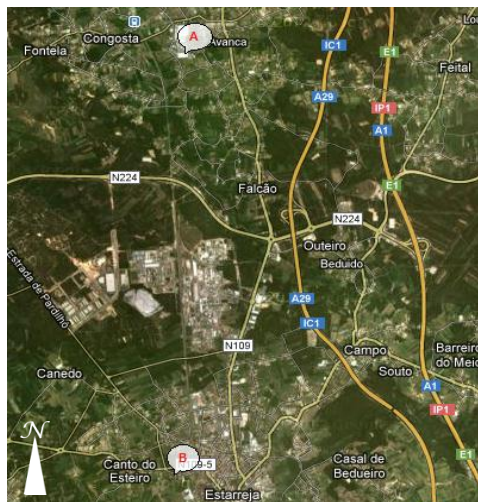


Figura 18 - Estações de Monitorização da Qualidade do Ar de Estarreja, Avanca (A) (desativada em 2005) e Teixugueira (B).

Na tabela 5 apresentam-se as características da Estação de Monitorização da Qualidade do Ar de Teixugueira/Estarreja.

Tabela 5 – Características da Estação da Qualidade do Ar de Teixugueira/Estarreja (Lameiras, 2011).

Estação de Monitorização	Instituição	Tipo de Ambiente	Tipo de Influência	Início	Poluentes Medidos				
Teixugueira /Estarreja	CCDR-C	Suburbana	Industrial	01/05/1990	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>

Relativamente às concentrações dos poluentes monitorizados nesta região, é necessário analisar os dados recolhidos e avaliados em estudos realizados anteriormente, comparando-os com os parâmetros legislativos para cada poluente medido.

Foram utilizados dados entre 2000 e 2009 baseados num estudo realizado anteriormente por Figueiredo (2011) e para os dados de 2010 e 2011 vai ser utilizado um estudo realizado por Duarte (2012), medidos na estação de monitorização da qualidade do ar em Estarreja/Teixugueira, a partir dos dados recolhidos na Agência Portuguesa do Ambiente. Para apoiar esta análise, a figura 19 apresenta o número de excedências entre 2000 e 2011 para alguns dos poluentes analisados.

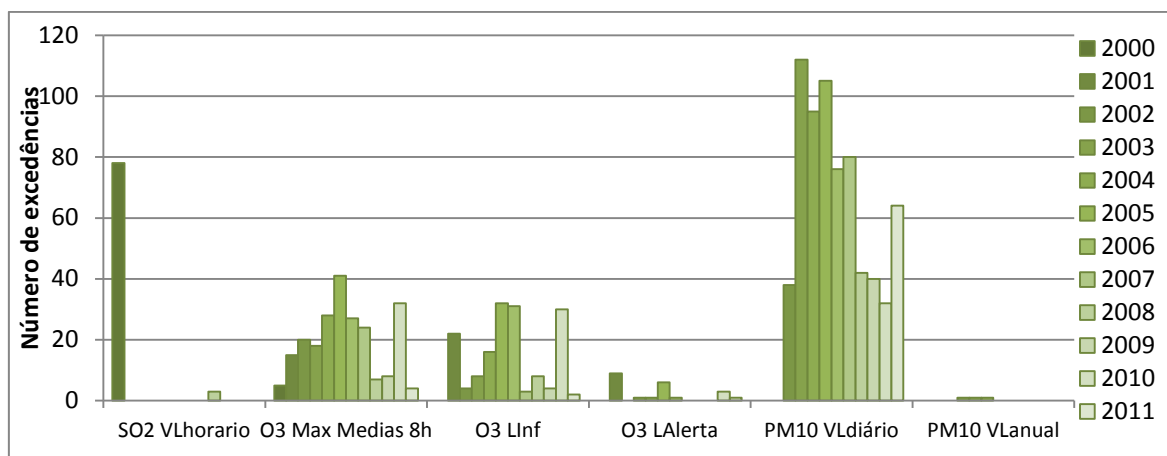


Figura 19 - Valores de Excedências dos poluentes SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e PM10.

Relativamente ao dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>), entre 2000 e 2011 não se verificou qualquer ocorrência de excedências ao limite horário (200 µg.m<sup>-3</sup>), limite anual legislado (40 µg.m<sup>-3</sup>) e o limiar de alerta (400 µg.m<sup>-3</sup>) estando, portanto, em conformidade com a legislação (Duarte, 2012; Figueiredo, 2011).

No caso do SO<sub>2</sub>, entre 2000 e 2011, registou-se excedência do valor limite horário (350 µg.m<sup>-3</sup>) e do valor limiar de alerta (500 µg.m<sup>-3</sup>, registado em 3 horas consecutivas) apenas no ano 2000 (Duarte, 2012; Figueiredo, 2011).

Relativamente ao ozono (O<sub>3</sub>), para o ano de 2010 o valor alvo imposto (120 µg.m<sup>-3</sup>) foi excedido 32 vezes estando, acima do valor legalmente estabelecido, o limiar de alerta (240 µg.m<sup>-3</sup>) foi ultrapassado 3 vezes e o limiar de informação (180 µg.m<sup>-3</sup>) 30 vezes. Através desta informação, neste ano O<sub>3</sub> não cumpre os valores legislados. Para o ano de 2011, o valor alvo foi ultrapassado 4 vezes, havendo então um cumprimento deste parâmetro neste ano. O limiar de alerta para 2011 foi ultrapassado somente uma vez e o limiar de informação foi ultrapassado duas vezes (Duarte, 2012).

Outro parâmetro que pode ser utilizado para analisar o poluente O<sub>3</sub> são as concentrações das médias octo-horárias, podendo ser comparado com o valor objetivo a logo prazo (120 µg.m<sup>-3</sup>). Em 2010 houve excedências a este valor mas em 2011 já se nota o cumprimento deste parâmetro. Relativamente aos valores de limiar de alerta e de informação, foram registadas excedências aos valores legislados havendo uma exceção do ano 2000 em que não ocorreu nenhuma excedência. Em contrapartida, no ano de 2005 foi registado o maior número de valores acima do valor permitido por lei, seguindo-se 2010, 2006 e 2001.

Comparativamente ao objetivo a longo prazo entre 2000 e 2011, apenas nos anos de 2005, 2010 e 2011 se registam excedências aos valores legalmente impostos (Figueiredo, 2011).

Pelo estudo realizado anteriormente sobre a qualidade do ar em Estarreja relativamente partículas em suspensão com diâmetro aerodinâmico inferior a 10  $\mu\text{m}$  (PM10), para o período temporal entre 2000 e 2009, o valor limite anual nos anos de 2003, 2004 e 2005 excede o valor limite legal (Figueiredo, 2011). Já para os anos de 2010 e 2011, verifica-se que foram registados valores acima do valor limite diário tanto no ano de 2010, por 32 vezes, e no ano de 2011, por 64 vezes. Todavia, no ano de 2010 o número de excedências registado é abaixo do valor estabelecido por lei (35 excedências num ano civil) mas em 2011 este valor é superior ao legislado. Pode-se então dizer que, para o ano de 2010, a emissão de PM10 não origina incumprimento da legislação pois todos os valores se encontram dentro dos limites estabelecidos legalmente. Já para o ano de 2011, este poluente mostra incumprimento da lei devido à excedência do valor limite diário (Duarte, 2012).

Relativamente às partículas em suspensão com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5  $\mu\text{m}$  (PM2,5), não estavam esclarecidos valores limite no Decreto-Lei nº 102/2010, de 23 de Setembro. Nessas circunstâncias foi definido um valor alvo de 25  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  para um ano civil. Foi também instituído um valor limite indicativo para 2020 de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para um ano civil, que sofrerá uma revisão em 2013 pela Comissão.

Pelo estudo realizado anteriormente sobre a qualidade do ar em Estarreja, para o período temporal entre 2000 e 2011, verifica-se que em 2005 se registaram valores acima do valor limite anual e em 2006 a concentração média anual ficou muito próxima do valor limite. Foi a partir do ano de 2005 que se começou a observar uma disposição decrescente das concentrações anuais de PM2,5, sendo que não houve mais excedências (Duarte, 2012; Figueiredo, 2011).

A Qualidade do Ar na Europa tem vindo a melhorar significativamente ao longo da última década devido à redução de emissões de determinados poluentes. Apesar disto, continuam problemas de qualidade do ar devido a excedências aos valores-limite legislados de poluentes como PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>. Como consequência, a população fica exposta aos níveis elevados de poluentes, prejudicando gravemente a sua saúde.

As PM<sub>10</sub> é um dos poluentes mais críticos em Portugal devido aos seus níveis elevados de concentração, promovendo problemas de saúde humana a nível respiratório. Além disso, as partículas têm um tempo de permanência na atmosfera que pode variar entre horas e semanas, dependendo do tamanho e das condições meteorológicas, levando a variações de concentração e composição. O NO<sub>2</sub> desempenha um papel importante na formação de O<sub>3</sub>, sendo um dos precursores deste último poluente. Também contribui para a formação de aerossóis secundários contribuindo para as concentrações de PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> (EEA, 2013).

A região de Estarreja detém o maior complexo químico industrial recentemente expandido, com o aumento das suas capacidades de produção. Sendo esta região uma área urbana industrializada, os óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>) e o material particulado (PM<sub>10</sub>) constituem os poluentes mais críticos em termos de qualidade do ar, com potenciais impactos na saúde, uma vez que são essencialmente emitidos pelo tráfego rodoviário e pela indústria.



---

## 4. MODELAÇÃO DE EXPOSIÇÃO PARA A REGIÃO DE ESTARREJA

A região de Estarreja apresenta problemas de Qualidade do Ar. A população encontra-se exposta a poluentes em ambientes exteriores e interiores, podendo esta exposição trazer consequências para a saúde humana. Para poder estimar os níveis de exposição a que a população está exposta, recorreu-se à modelação. Os modelos numéricos constituem uma ferramenta de particular interesse para estudos de Qualidade do Ar e de Exposição, tendo em conta que os fenómenos de Qualidade do Ar são bastante complexos dificultando a análise direta. O modelo utilizado é um modelo mecanicista determinístico em que através de uma construção matemática dos processos físicos calcula saídas fixas para um conjunto fixo de entradas.

Os poluentes analisados são o  $\text{NO}_2$  e as  $\text{PM}_{10}$  devido à sua relevância no concelho de Estarreja. A população em que vai incidir este estudo é no grupo entre os 5 e os 19 anos e no grupo entre os 25 e 64 anos pois são os dois grupos que representam a maior parte da população residente no concelho.

### 4.1 *Condições de aplicação*

Para calcular a exposição tendo em conta a equação apresentada no capítulo 2 (equação 7) é essencial informação como:

- Dados da distribuição da população para o concelho de Estarreja, por faixa etária e subsecção (Censos 2011);
- Mapas e imagens de satélite para a região de estudo de identificação dos diferentes usos do solo (site da camara municipal de Estarreja e imagens de satélite);
- Padrões de atividade-tempo (estudo da ocupação do tempo do INE) como locais visitados pela população;
- Variação espacial e temporal da qualidade do ar na região – concentrações de poluentes simulados por um modelo desenvolvido por investigadores da Universidade de Aveiro sendo que estes dados da concentração estão distribuídos por uma malha de  $500 \times 500 \text{ m}^2$ .

### 4.1.1 Dados de entrada

Face ao detalhe dos dados recolhidos, foi definido o domínio para aplicação do modelo de exposição, como mostra a figura 20. Este domínio é centrado na cidade de Estarreja e tem 14 por 17 Km de dimensão, abrangendo todo o concelho com uma resolução espacial de  $125 \times 125 \text{ m}^2$ .

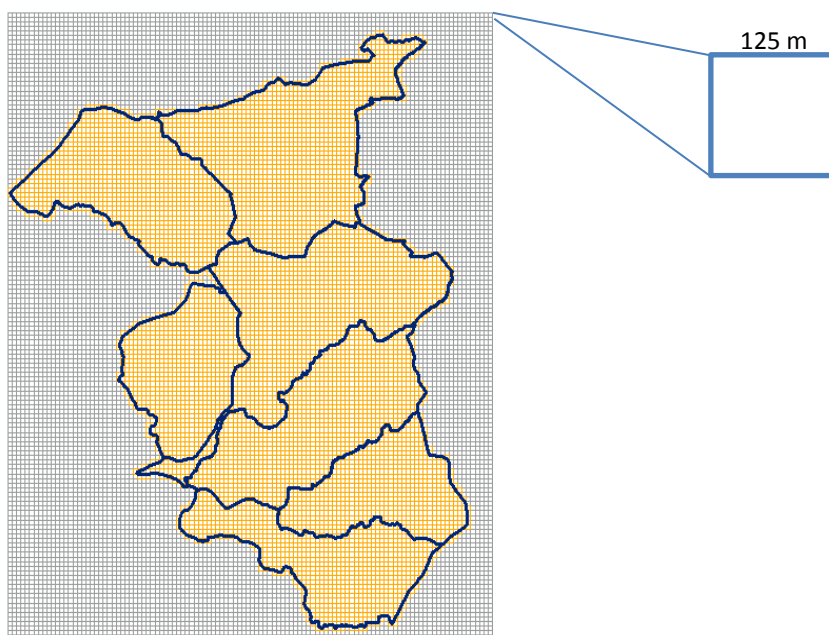


Figura 20 - Domínio de aplicação do modelo de Exposição com delimitação das 7 freguesias do concelho de Estarreja.



Os dados de entrada admissíveis ao modelo de exposição dividem-se em:

1. Distribuição espacial dos microambientes;
2. Concentração nos locais visitados pela população (microambientes);
3. Distribuição espacial da população;
4. Perfis atividade-tempo da população.

### 1. Distribuição espacial dos microambientes

Para a caracterização dos espaços visitados pela população ao longo de um dia recorreu-se a mapas, a imagens satélite e à rede viária da região em estudo. Os dados recolhidos foram tratados numa base de Sistemas de Informação Geográfica, sendo distinguidos os seguintes microambientes, como mostra a figura 21:

- Jardins/Parques;
- Zonas agrícolas;
- Zonas habitacionais;
- Industrias;
- Outros serviços (hospitais, centro de saúde, bombeiros, biblioteca pública, câmara municipal, juntas de freguesia, etc);
- Estradas;
- Floresta/Bosque;
- Ria (Rio Vouga).

A cada célula de 125 x 125 m<sup>2</sup> foi atribuído um microambiente correspondente ao uso do solo mais frequente na área da célula.

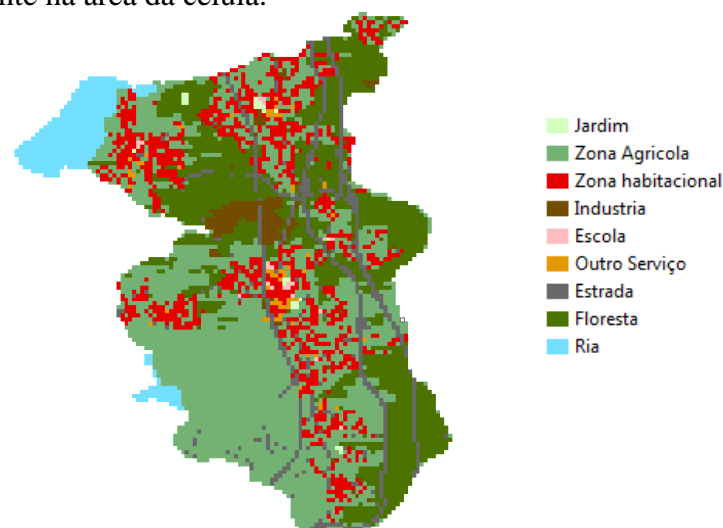


Figura 21 - Microambientes por cada célula do domínio.

### 2. Concentração nos locais visitados pela população (microambientes)

Os valores de concentração dos poluentes NO<sub>2</sub> e PM10 foram obtidos a partir da aplicação de um modelo gaussiano, de avaliação da qualidade do ar de curto e longo prazo à escala urbana: *Urban Air Quality Integrated Modelling System* (URBAIR) desenvolvido pela Universidade de Aveiro (Amorim et al, 2010; Borrego et al., 2012). Este modelo tem em conta a variabilidade temporal e espacial das emissões em linha e fontes pontuais, condições meteorológicas sinópticas e a localização/configuração de espaço edificado. O modelo permite estimar padrões de qualidade do ar para um determinado domínio espacial e período para diferentes poluentes atmosféricos. Este sistema é constituído por três módulos de pré-processamento de informação (geoinformação, emissões e meteorologia) e um módulo de dispersão.

Neste estudo, foram utilizados os resultados obtidos de uma simulação de qualidade do ar à escala urbana, realizada no âmbito do projeto INSPIRAR (Pimentel *et al.*, 2013) para o domínio os dias úteis dos seguintes períodos:

- Fevereiro e Março de 2012;
- Maio e Junho de 2011.

Para o cálculo das concentrações em ambientes interiores usaram-se relações empíricas obtidas a partir da literatura consultada (Baek, Kim, & Perry, 1997; Gulliver & Briggs, 2007; Monn, 2001; USEPA, 2001; Wu et al., 2005) resultantes de campanhas experimentais de medições e apresentadas na tabela 6. Assim, concentração associada aos microambientes exteriores como Zonas Agrícolas, Jardim, Floresta e Estrada é dada diretamente pelos valores simulados pelo modelo URBAIR, os microambientes interiores Zona Habitacional, Indústria, Escola e Outros Serviços são dados como Outros Interiores e o microambiente Zona Habitacional, representada por Residência. ( Borrego et al., 2006; USEPA, 2001).

As relações empíricas apresentadas na tabela 6 contemplam a influência do exterior e a contribuição das fontes interiores

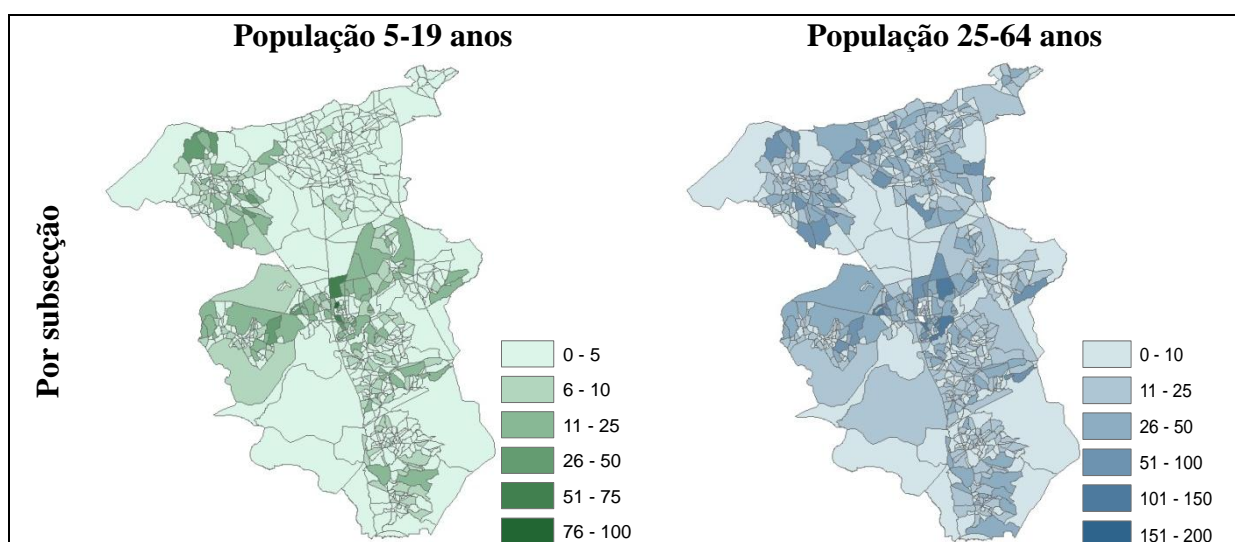
Tabela 6 - Relações empíricas interior/exterior para os poluentes NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>, e para dois microambientes.

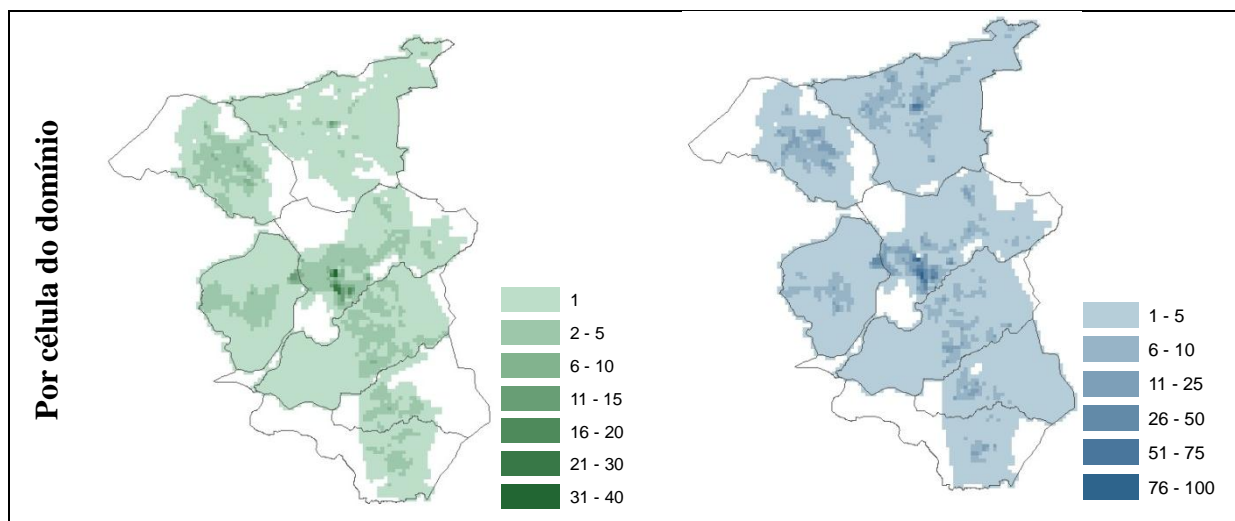
Poluente	Microambientes	
	Residência	Outros interiores
NO <sub>2</sub>	$C_{Int} = 0,5 * C_{Ext}$	$C_{Int} = 0.7 * C_{Ext}$
PM <sub>10</sub>	$C_{Int}(dia) = 48 + 0.51C_{Ext}$	$C_{Int}(dia) = 48*(1-0.14) + 0.51C_{Ext}$
	$C_{Int}(noite) = 20 + 0.52C_{Ext}$	$C_{Int}(noite) = 20*(1-0.14) + 0.52C_{Ext}$

### 3. Distribuição espacial da população

A informação relativa à população residente do concelho de Estarreja está disponível por faixa etária e por freguesia, lugar e subsecção através dos Censos 2011 [URL 4]. Dado o detalhe da restante informação necessária à modelação da exposição e a resolução espacial do domínio de estudo, a discretização da população por subsecção apresenta-se como a mais adequada.

Assim, efetuou-se o mapeamento da população residente no concelho de Estarreja pelas subsecções e para os subgrupos da população entre os 5 e os 19 anos e entre os 25 e os 64 anos, para aplicar ao modelo numérico, a população foi distribuída por cada célula do domínio, como representada na figura 22.





**Figura 22 - População de Estarreja distribuída por subsecção e por célula do domínio para as duas faixas etárias analisadas.**

Para além da população que reside e trabalha ou estuda na região, há indivíduos que, diariamente, saírem do concelho para trabalhar ou estudar noutro local e, por outro lado, há indivíduos que vem de outros municípios para Estarreja trabalhar ou estudar. Estas variações na população não foram consideradas pois o número de indivíduos que entra e sai é, aproximadamente, o mesmo.

#### **4. Perfis atividade-tempo da população**

Um perfil atividade-tempo descreve as atividades realizadas por um indivíduo ou um grupo de indivíduos durante um dia, nos vários microambientes visitados e o tempo passado em cada um desses microambientes. É necessário ter em conta que para um estudante, trabalhador ou reformado estes padrões são diferentes devido ao tipo de atividades que cada um destes grupos realiza ao longo de um dia.

Através de um inquérito ocupação-tempo realizado em 1999 pelo Instituto Nacional de Estatística (INE, 1999), obteve-se informação em valores de percentagem para a ocupação ao longo de um dia para a população nacional (de 10 em 10 minutos). Estes dados foram usados para definir os perfis atividade-tempo para a região de Estarreja visto que não existem dados específicos por concelho. Na figura 23 (a) e (b) estão apresentados os padrões para um dia útil para a população estudantil (entre os 5 e 19 anos) e empregada (entre os 25 e os 64 anos):

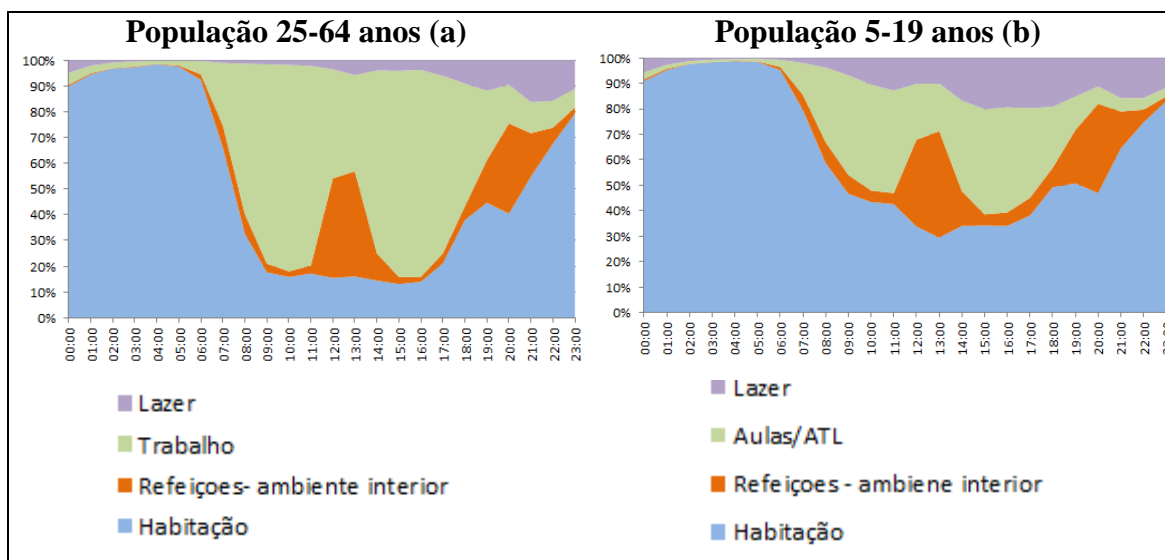


Figura 23 - Padrão de Atividade-tempo para a população dos 25-64 anos (b) e dos 5-19 anos (a) (INE, 1999).

Pelas figuras 23 (a) e (b), verificam-se diferenças entre os perfis dos dois grupos da população. Para a população dos 25 aos 64 anos (figura 23 (a)), verifica-se que a partir das 6:00 da manhã a maioria da população preparara-se para realizar atividades profissionais passando da habitação para o seu respetivo emprego. Nota-se que este grupo tem picos às horas das refeições principais. Há que ter em conta que os indivíduos podem almoçar no local de trabalho ou sair para se dirigir a casa ou, até mesmo, deslocar-se a um local próximo do local de trabalho. As atividades de lazer são realizadas em maior percentagem nas horas mais tardias do dia e na sua maioria em espaços interiores.

Na figura 23 (b), observa-se que a maioria deste grupo passa muito do seu tempo diário em casa. Tal como para a população empregada, notam-se os picos existentes relativamente às refeições, acabando este grupo na sua maioria por almoçar na escola. Os estudantes realizam mais atividades de lazer da parte da tarde atingindo o seu pico por volta das 16:00 horas. Estas atividades são realizadas no interior ou no exterior.

## 4.2 Modelo de exposição

Para a estimativa da exposição da população de Estarreja foi usado e adaptado ao caso de estudo, um modelo de exposição populacional desenvolvido por Ferreira (2007).

O modelo, desenvolvido em linguagem fortran, foi alterado de forma a considerar os dados específicos de Estarreja, nomeadamente, os ficheiros de saída do modelo de Qualidade do

## Modelação de Exposição para a Região de Estarreja

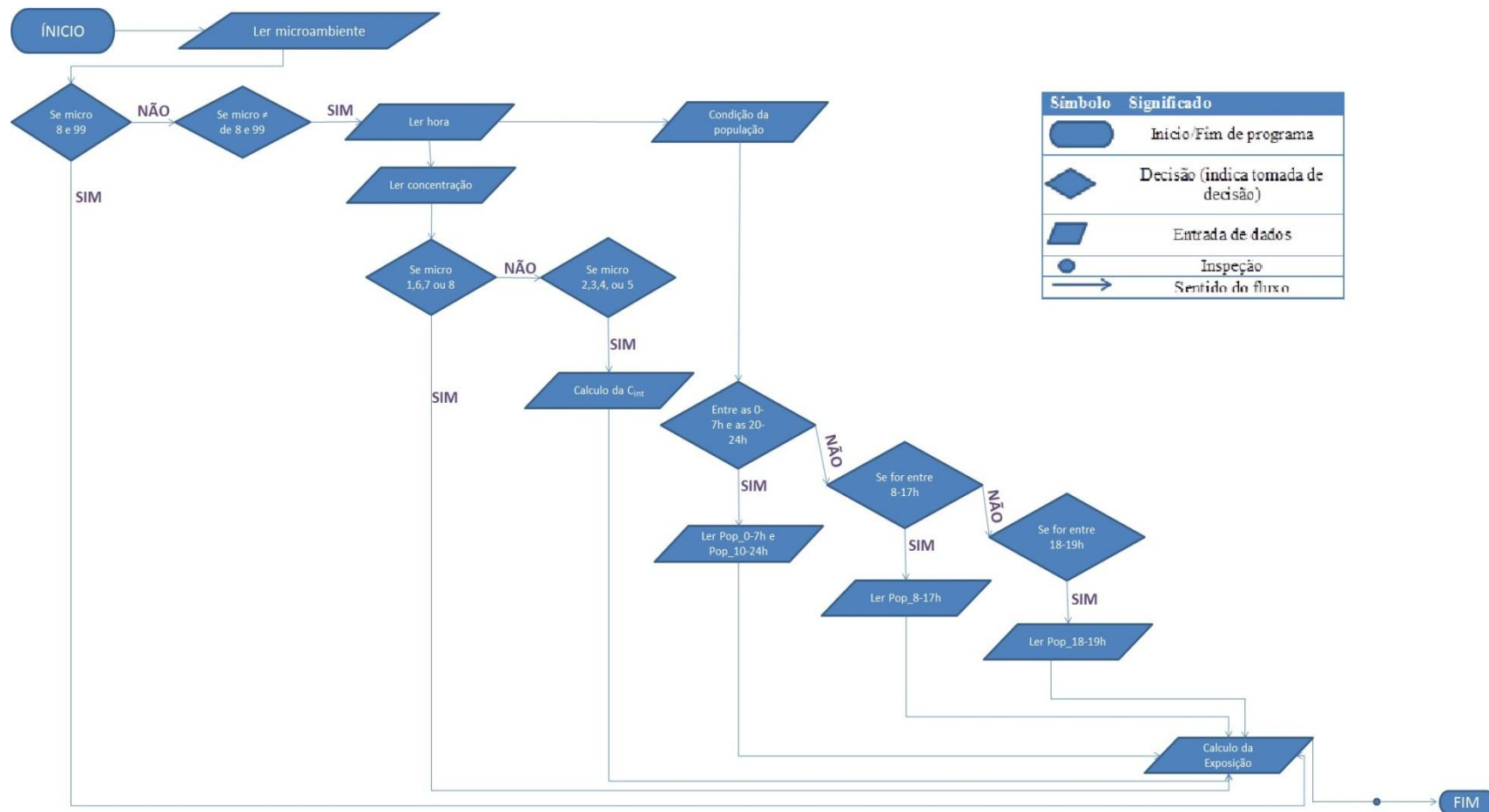


Figura 24 - Fluxograma global do modelo de Exposição.

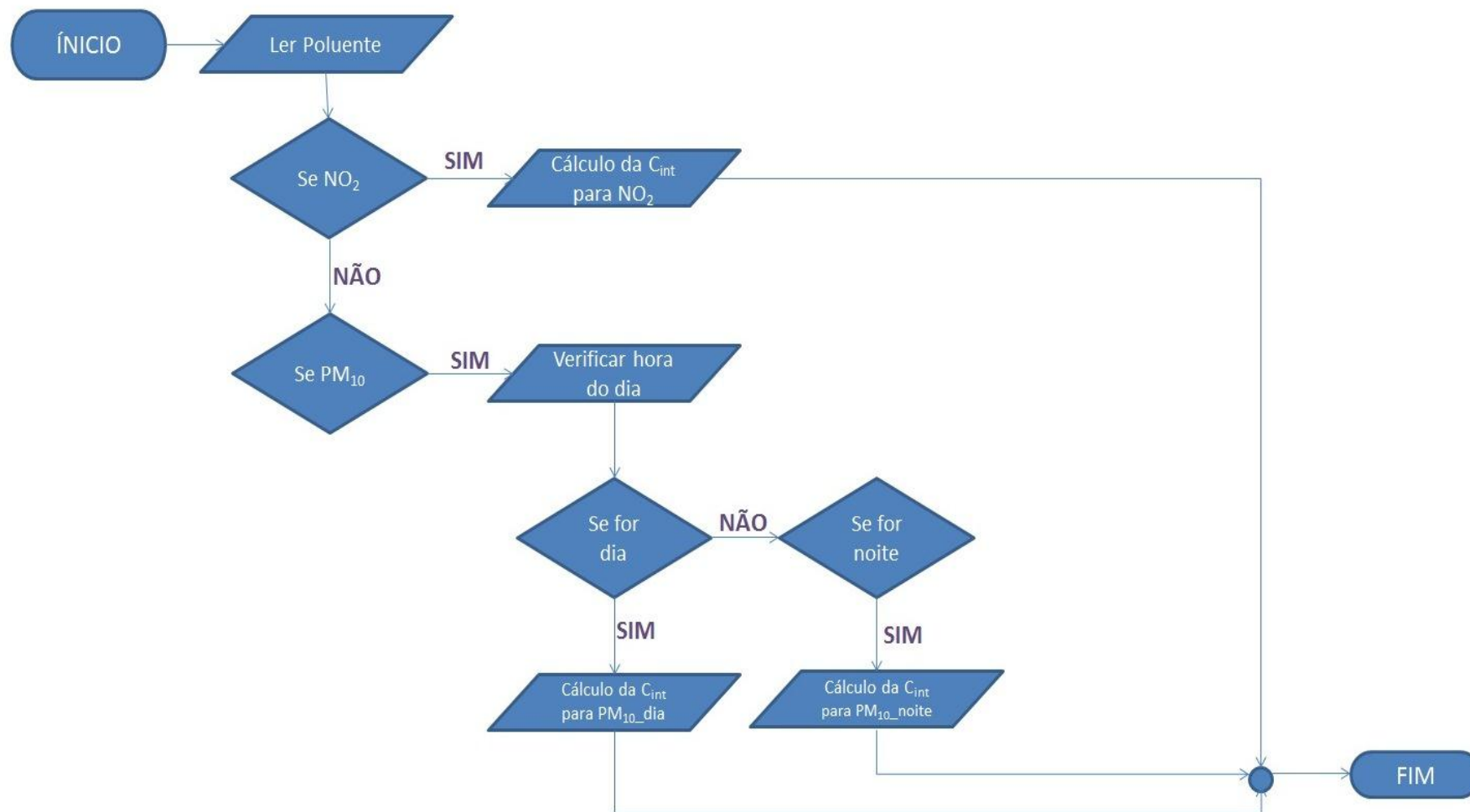


Figura 25- Fluxograma do cálculo das concentrações interiores do modelo.

Ar URBAIR, a matriz de microambientes e as matrizes da distribuição da população pelas horas do dia. A figura 24 apresenta o fluxograma global do modelo de exposição e a figura 25 demonstra o fluxograma do cálculo das concentrações interiores no modelo.

O fluxograma global do modelo descreve todos os passos necessários desde a leitura dos dados de entrada ao cálculo da exposição. A leitura da matriz dos microambientes (em que a cada microambiente é atribuído um número) inicia o processo de cálculo, através de uma instrução condicional. A exposição é nula para células não pertencentes ao concelho de Estarreja (microambiente = 99) e para células ocupadas por água (microambiente = 8). Para os restantes microambientes, e num ciclo das 24h do dia, é lida a concentração exterior (resultado do modelo URBAIR) e a população presente. No caso de um microambiente interior, é calculada a concentração interior de acordo com fluxograma de cálculo apresentado na figura 25. Este cálculo é efetuado em função da hora do dia, do poluente e usando as relações empíricas apresentadas na tabela 6 para os poluentes NO<sub>2</sub> ou PM<sub>10</sub>.

Consoante a população em análise (indivíduos com idades entre os 5 e os 19 anos ou indivíduos com idades entre os 25 e os 64 anos), são utilizadas matrizes de distribuição da população para as várias horas do dia, tendo em conta os padrões de atividade-tempo:

- No caso dos indivíduos com idades entre os 5 e os 19 anos utilizam-se as seguintes matrizes: “0-7h e 19-24h” representando o período de tempo que estes indivíduos estão em casa; “8-17h” representando o período de tempo estão na escola/ATL e “18-19h” representando o período de tempo que os indivíduos desta faixa etária estão a realizar atividades extracurriculares;
- No caso dos indivíduos com idades entre os 25 e os 64 anos utilizam-se as seguintes matrizes: “0-7h” e “21-24h” representando o período de tempo que estes indivíduos estão em casa; “8-11h” e “14-18h” representando o período de tempo estão no local de trabalho; “12-13h” representando o período de tempo que os indivíduos desta faixa etária estão na hora de almoço; “19-20h” representando o período de tempo que os indivíduos desta faixa etária estão a realizar um *hobbie*.



### 4.3 *Dados de Saída*

O modelo de exposição usado neste trabalho resulta da adaptação de um modelo já utilizado para tanto a nível nacional, como para a região do grande Porto e Lisboa. Pode-se concluir que este modelo base pode ser adaptado ao domínio de estudo que se deseja, tendo em conta a informação disponível e utilizada para essa mesma área.

O modelo de exposição calcula, para cada poluente e para cada grupo de população em análise:

- Exposição populacional média diária - a qual se obtém através da exposição total dividida pelas horas de um dia (24h);
- Exposição cumulativa diária - somatório cumulativo da exposição ao longo de um dia;
- Exposição populacional média mensal - a qual se obtém dividido da exposição total pelo número de dias do mês em questão;
- Exposição cumulativa mensal - somatório cumulativo da exposição ao longo de um mês.

O modelo também fornece séries temporais (em base horária e diária) da exposição populacional em pontos de interesse, definidos pelo utilizador.

Com estes resultados é possível averiguar até que ponto a população analisada do concelho de Estarreja está exposta ao NO<sub>2</sub> e às PM<sub>10</sub>. Assim, verifica-se, para cada grupo etário, os níveis de exposição nos microambientes visitados pelos indivíduos durante os meses de primavera e inverno e é possível perceber qual a relação entre a exposição e a concentração exterior. Pelas séries temporais providas pelo modelo, é possível descrever a exposição ao longo de um dia para cada época em análise, verificando até que nível de exposição, para cada poluente, um indivíduo pode atingir.

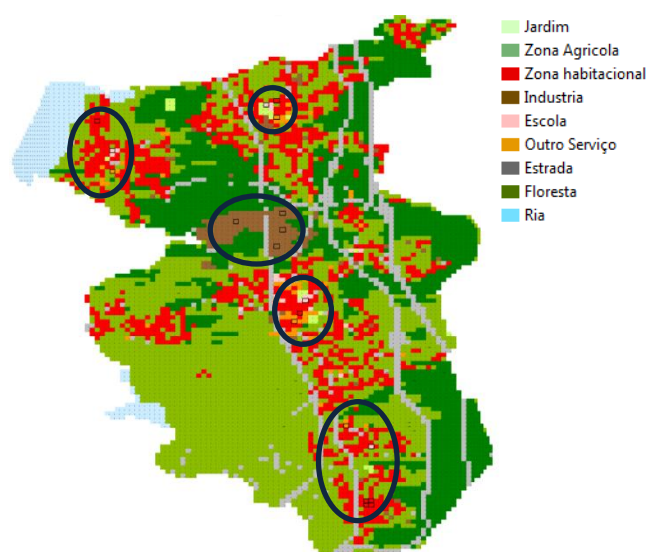
Estes resultados podem ser apresentados através de mapas com a variação espacial e evolução temporal dos poluentes na região de Estarreja, caracterizando a exposição populacional para todos os microambientes visitados.



---

## 5. EXPOSIÇÃO POPULACIONAL EM ESTARREJA

Os resultados obtidos pela aplicação do modelo de exposição para os dois períodos e os dois grupos de população foram analisados em termos de distribuição espacial e evolução temporal para dois meses representativos da época de Inverno e dois meses representativos da época de Primavera. Foi calculada a média mensal da exposição populacional a NO<sub>2</sub> e a PM10 para todo o domínio e obtidas as séries temporais em algumas áreas seleccionadas de forma a caracterizar a exposição nos locais mais visitados pela população em diferentes zonas do concelho – uma zona residencial/serviços no centro urbano, e zonas residenciais no norte, zona este, centro e no sul do concelho, identificados na figura 26.



**Figura 26 - Células definidas pelo utilizador para o cálculo da exposição populacional.**

### 5.1 *Evolução temporal*

Os locais para análise da evolução temporal da exposição aos poluentes em estudo foram escolhidos em função do número de indivíduos dos grupos etários presentes. Assim, para o grupo com idades cumpridas entre os 5 e os 19 anos são analisados locais como zonas residências e escolas na zona norte, centro e sul da região e para o grupo com idades compreendidas entre os 25 e os 64 anos são analisados locais como zonas residências e zonas implementadas com outros serviços na zona norte, centro e sul do concelho e o Complexo Químico de Estarreja.

Os resultados descrevem a evolução horária da exposição populacional média (ou seja, a concentração a que um indivíduo, em média, está exposto) nos locais identificados anteriormente, e da concentração exterior dos poluentes em estudo e nesses mesmos locais. São apresentados para duas épocas: primavera, representado pelos meses de maio e junho, e inverno, representado pelos meses de fevereiro e março.

#### NO<sub>2</sub>:

Os resultados obtidos estão apresentados por grupo etário, por época do ano, e por microambiente de forma a analisar a concentração e exposição obtidas para um mesmo microambiente em zonas distintas da área de estudo.

#### - Grupo etário dos 5 e os 19 anos, período de Inverno:

Nas figuras 27 e 28 estão representados os níveis de concentração exterior e exposição simulados para o microambiente “Escola” na zona Norte, Centro e Sul da região de estudo. Nas figuras 29 e 30, estão apresentados os resultados de concentração exterior e exposição para uma célula representativa de zona residencial no Norte, Centro e Sul da região de estudo.

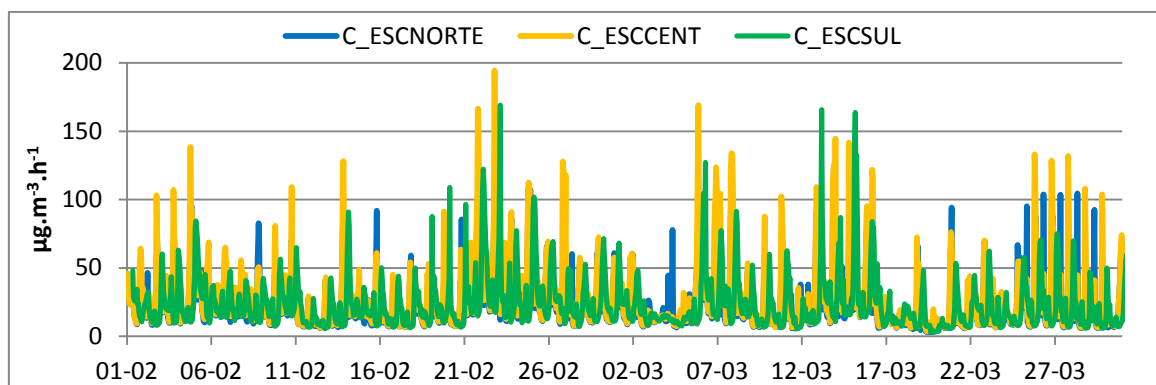


Figura 27- Evolução temporal da concentração exterior para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Escola” e para a época de Inverno.<sup>1</sup>

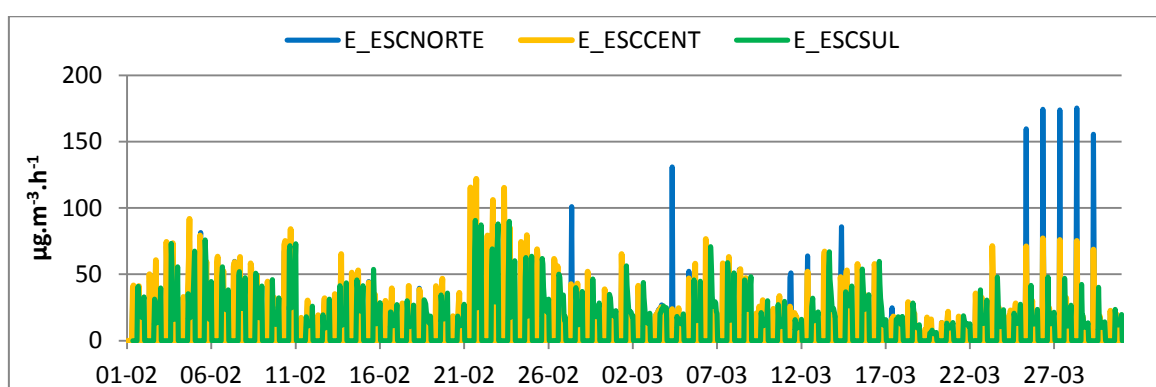


Figura 28 - Evolução temporal da exposição para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Escola”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Inverno.

Através das figuras 27 e 28, verifica-se que é no microambiente “Escola” da zona centro que os níveis de concentração exterior são elevados e, consequentemente, exposição mais elevada do que nas outras zonas avaliadas. Estes valores de concentração de NO<sub>2</sub> são observados durante o período noturno, em que se verifica a acumulação deste poluente devido à fraca dispersão. Neste período, as crianças não estão presentes neste microambiente, não estando expostas às elevadas concentrações simuladas. Porém, nos últimos dias analisados, a escola da zona Norte regista níveis de exposição elevados (acima dos 150 µg.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>).

Pelas figuras 29 e 30, averigua-se que é na zona centro que são atingidos os maiores níveis de concentração exterior, seguido da zona sul e norte. Como consequência, a zona centro e

<sup>1</sup> ESC – Microambiente “Escola”;  
RESID – Microambiente “Zona Habitacional”;  
M/J – Período de primavera (maio/junho);  
F/M – Período de inverno (fevereiro/março).

sul registaram-se níveis de exposição elevados. As concentrações exteriores durante a noite têm como consequência, os valores mais elevados de exposição no microambiente “Zona Habitacional”, onde as crianças se encontram.

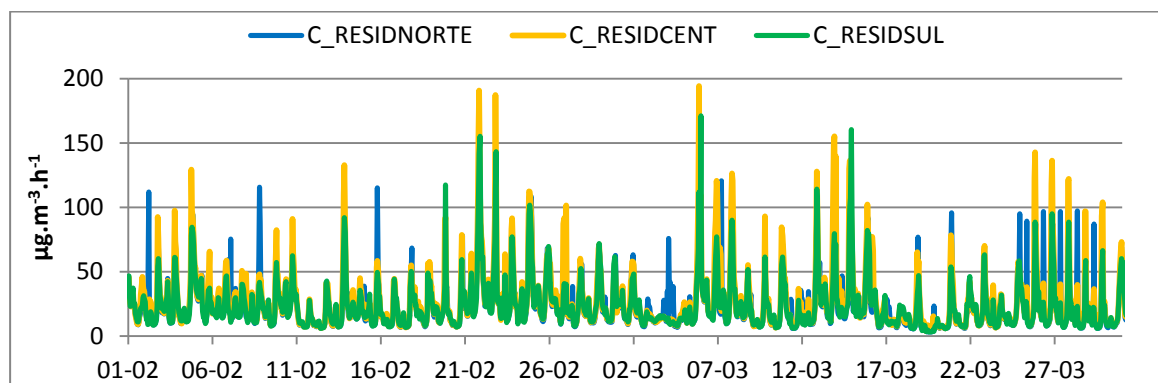


Figura 29 - Evolução temporal da concentração exterior para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Zona Habitacional”, para a época de Inverno.

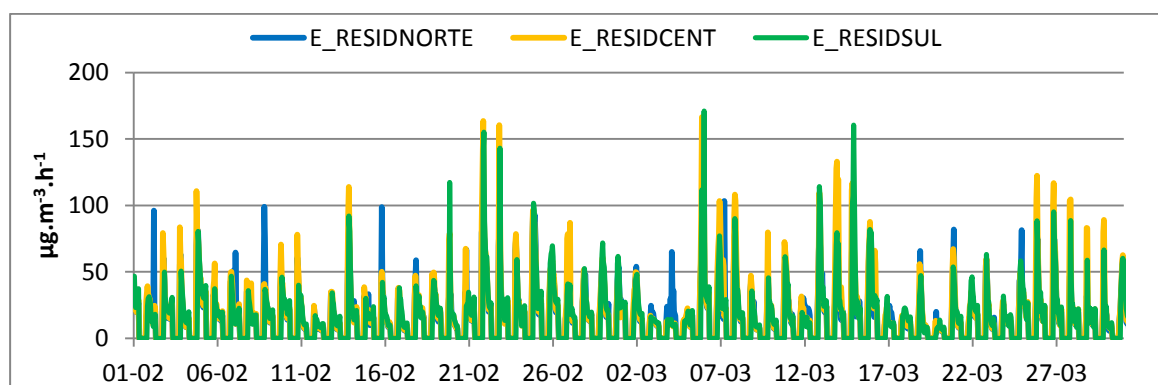


Figura 30 - Evolução temporal da exposição para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Zona Habitacional”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Inverno.

- Grupo etário entre os 5 e os 19 anos na época de Primavera:

Nas figuras 31 e 32, estão representados os resultados de concentração exterior e exposição para as zonas Norte, Centro e Sul da região de estudo, relativamente ao microambiente “Escola”. Já nas figuras 33 e 34 estão representados os resultados para as mesmas variáveis mas em análise está o microambiente “Zona Habitacional” no Norte, Centro e Sul da região de estudo.

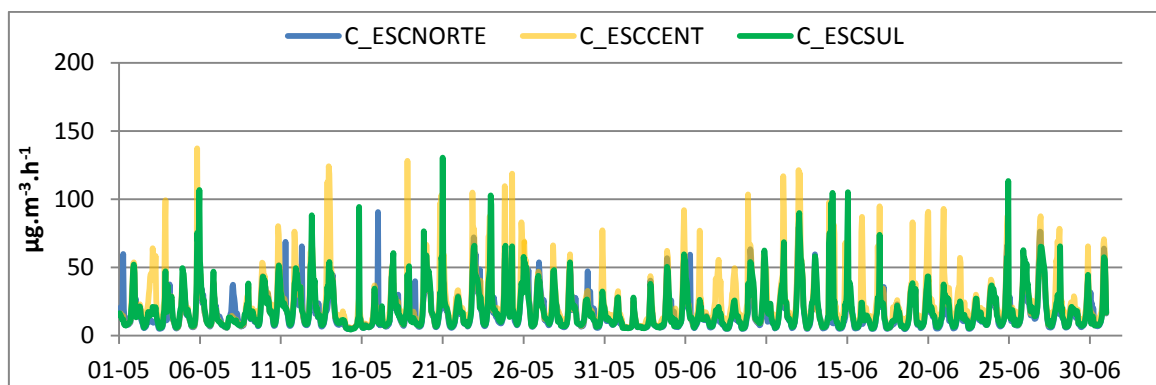


Figura 31 - Evolução temporal da concentração exterior para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Escola” e para a época de Primavera.

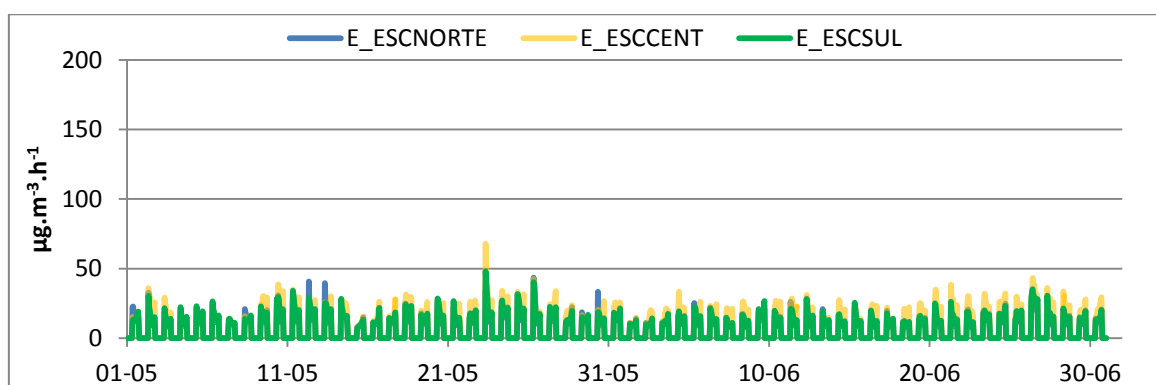


Figura 32 - Evolução temporal da exposição para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Escola”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Primavera.

Os maiores níveis de concentração foram registados na escola localizada na zona centro, seguido da escola da zona sul e, por fim, da escola localizada na zona norte. Em termos de exposição, foi também na zona centro que se obtiveram os valores mais elevados.

Os valores de concentração exterior e exposição na época de inverno (figuras 27 e 28) foram mais elevados do que na época de primavera. Tal facto pode estar relacionado com as condições meteorológicas, favorecendo a dispersão na primavera.

Pelas figuras 33 e 34, verifica-se que na zona residencial localizada na zona centro do concelho os níveis de concentração exterior são superiores aos da zona sul e norte. Além disso, os níveis de exposição seguem o mesmo padrão de comportamento que os níveis de concentração, sendo registado na zona centro e sul níveis mais elevados de exposição. É na zona norte que são registados os valores mais baixos de concentração exterior e de exposição. Analogamente ao microambiente “Escola”, os níveis mais elevados foram obtidos para o período de inverno.

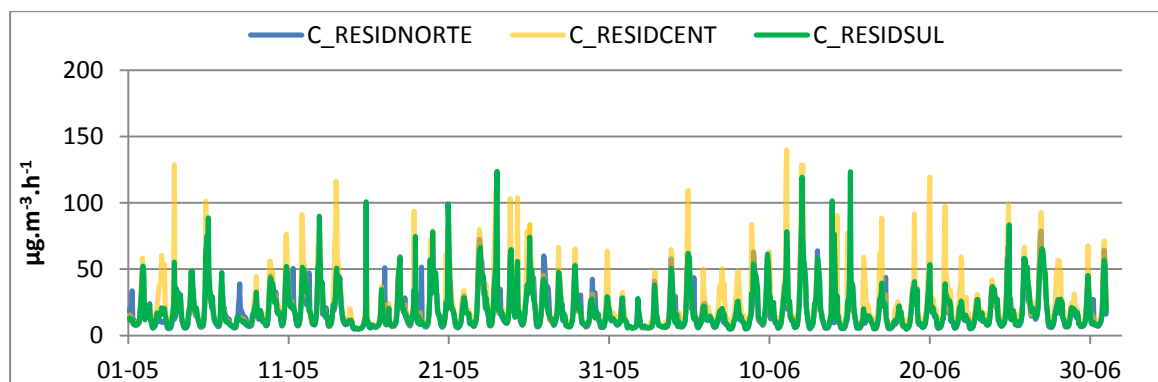


Figura 33 - Evolução temporal da concentração exterior para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Zona Habitacional”, para a época de Primavera.

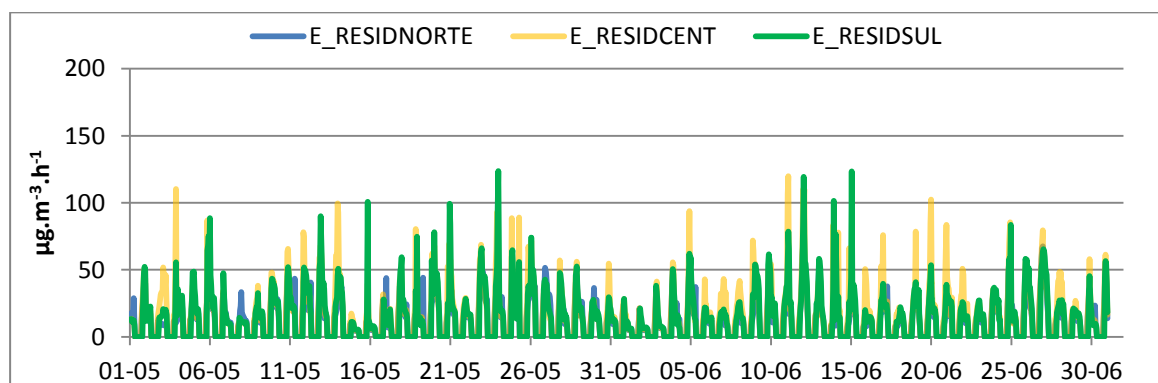


Figura 34 – Evolução temporal da exposição para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Escola”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Primavera.

- Grupo etário entre os 25 e os 64 anos na época de Inverno:

Os resultados de concentração exterior e exposição para a média de quatro células selecionadas aleatoriamente no CQE, estão apresentados na figura 35.

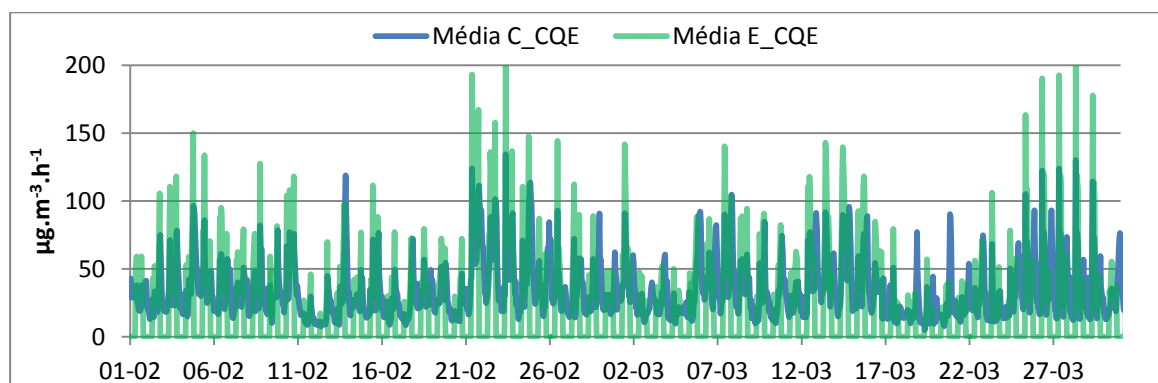


Figura 35 - Evolução temporal da concentração exterior e da exposição para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Indústria” considerando células representativas do CQE, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Inverno.



Através da figura 35, verificam-se vários picos de concentração exterior ao longo do período em estudo. Já os níveis de exposição atingem valores elevados em determinadas alturas do período principalmente no fim do mês de Março.

Nas figuras 36 e 37 estão apresentados os resultados para uma zona de serviços (locais de trabalho) para a concentração exterior e exposição, na zona Norte, Centro e Sul da região de estudo.

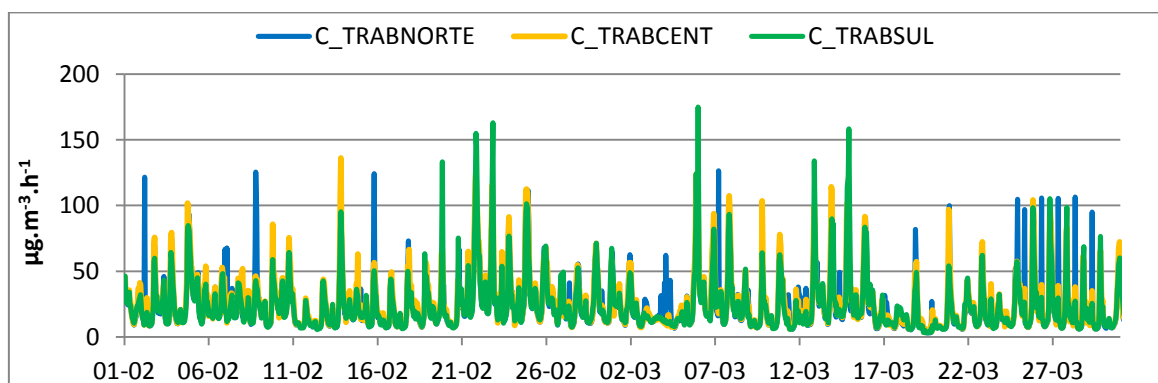


Figura 36 - Evolução temporal da concentração exterior para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Outros Serviços”, e para a época de Inverno.

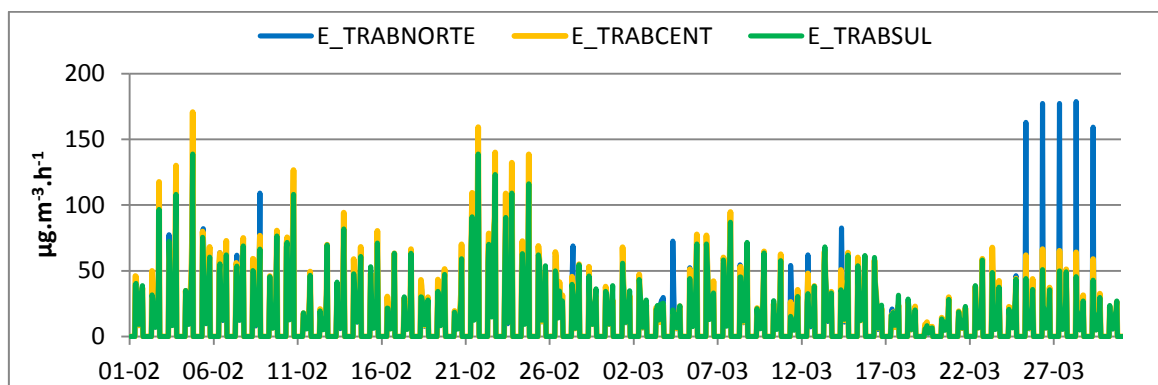


Figura 37 - Evolução temporal da exposição para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Outros Serviços”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Inverno.

É possível verificar que neste período e nestes locais, os níveis de concentração exterior e exposição são elevados principalmente na zona centro do domínio, contudo são registados valores elevados nas três zonas. No final do mês de março, na zona norte verificam-se níveis elevados de exposição, ultrapassando os  $150 \mu\text{g.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ , como consequência das concentrações exteriores simulados para esse período.

Os resultados, relativamente ao microambiente “Zona Habitacional”, estão apresentados na figura 38 para a concentração exterior e na figura 39 para a exposição.

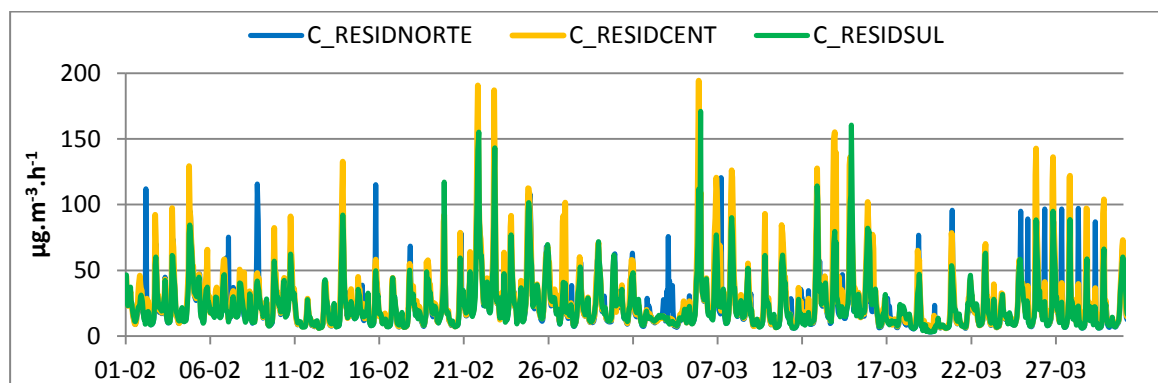


Figura 38 - Evolução temporal da concentração exterior para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Zona Habitacional”, para a época de Inverno.

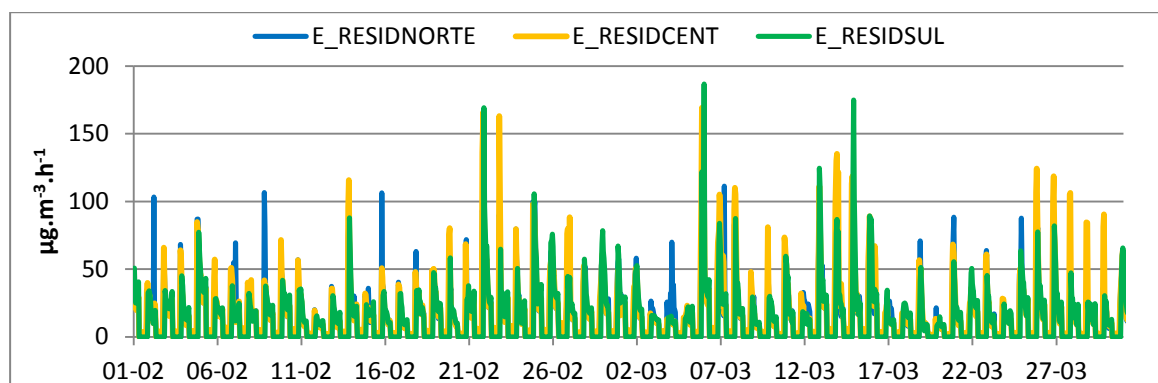
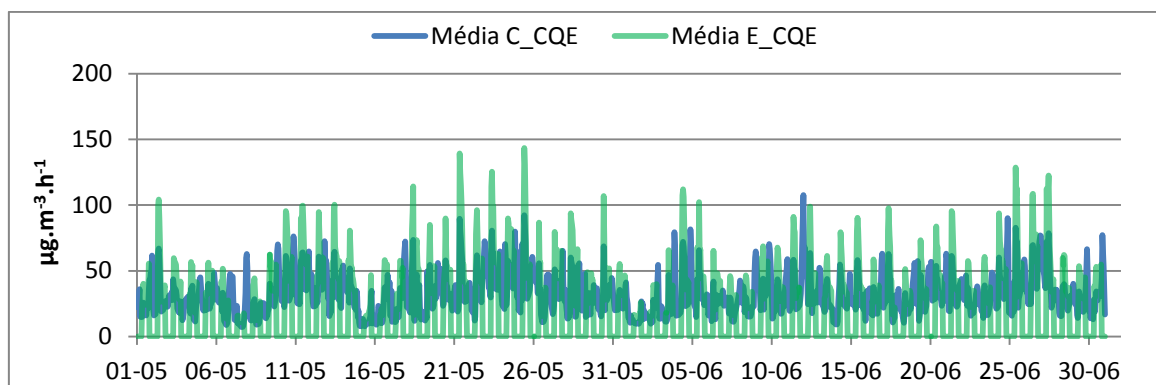


Figura 39 - Evolução temporal da exposição para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Zona Habitacional”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Inverno.

Pelas figuras 38 e 39, observa-se que os valores são elevados nas três zonas sendo na zona do centro do concelho que são atingidos mais picos de concentração exterior como de exposição. Apesar disso, na zona sul também se registam alguns valores elevados tanto de concentração exterior como de exposição, no fim do mês de fevereiro e início e meados do mês de março.

### - Grupo etário entre os 25 e os 64 anos na época de Primavera:

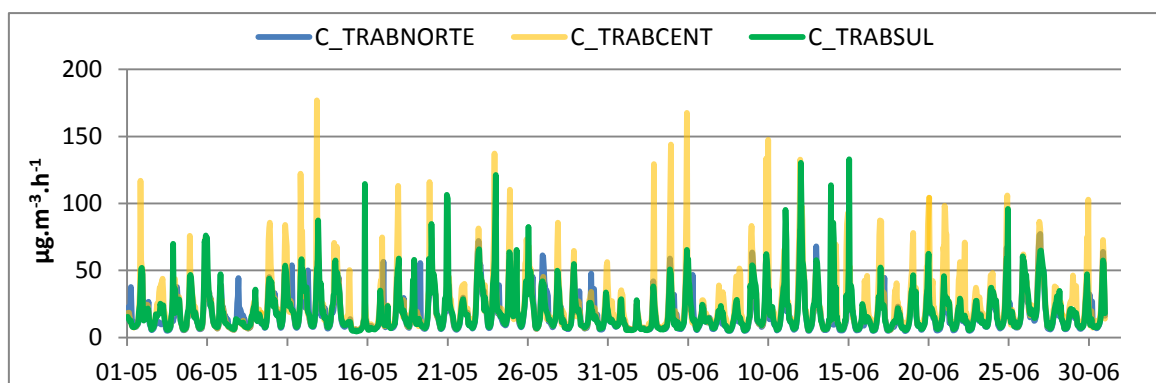
Na figura 40 estão representados os resultados para a média de quatro células selecionadas aleatoriamente no Complexo Químico de Estarreja.



**Figura 40 - Evolução temporal da concentração exterior e da exposição para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Indústria” considerando células representativas do CQE, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de primavera.**

Os níveis de concentração exterior registados na zona do Complexo Químico são ligeiramente elevados ao longo de todo o período analisado. É notório que na época de inverno (figura 35) são registados valores mais elevados de concentração exterior e exposição do que na época de primavera.

Nas figuras 41 e 42 estão representados os resultados para o microambiente “Outros Serviços” para a zona Norte, Centro e Sul da região de estudo, relativamente à concentração exterior e exposição.



**Figura 41 - Evolução temporal da concentração exterior para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Outros Serviços”, para a época de Primavera.<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> TRAB – Microambiente “Outros Serviços”;  
RESID – Microambiente “Zona Habitacional”;  
M/J – Período de primavera (maio/junho);  
F/M – Período de inverno (fevereiro/março).

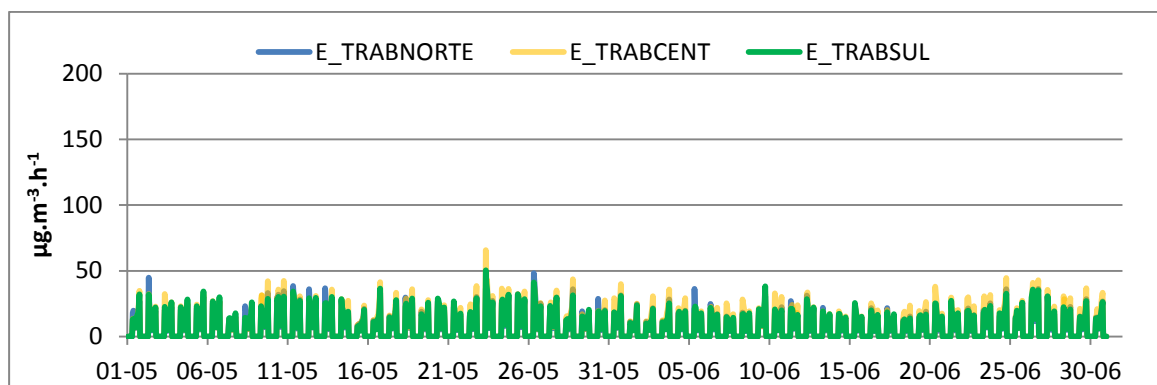


Figura 42 - Evolução temporal da exposição para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Outros Serviços”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Primavera.

Os níveis de concentração exterior mais elevadas foram simulados para a zona centro e os mais baixos na zona norte. Nestas três células, os níveis de exposição registados são baixos, apesar de ser na zona centro que se nota níveis mais elevados de exposição, registando um pico que excede os 50 µg/m<sup>3</sup>. Comparando os valores registados nos gráficos das figuras 36 e 37 com os valores das figuras 41 e 42, observa-se que no primeiro conjunto de gráficos os valores são mais elevados.

Nas figuras 43 e 44, estão representados os resultados de concentração exterior e exposição para uma zona residencial a Norte, Centro e Sul da região de estudo.

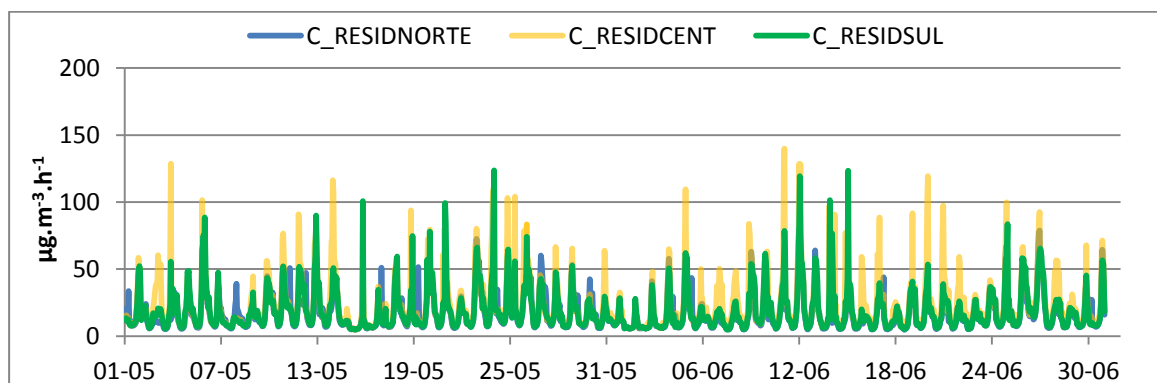


Figura 43 - Evolução temporal da concentração exterior para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Zona Habitacional”, e para a época de Primavera.

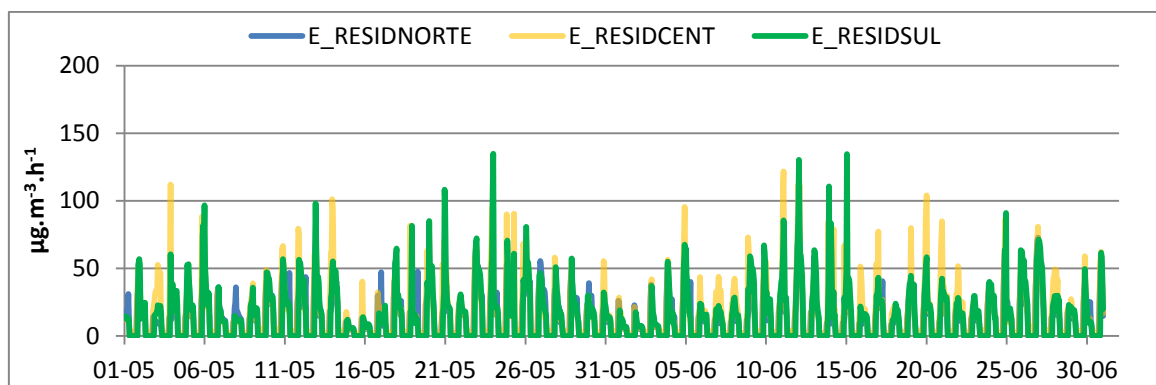


Figura 44 - Evolução temporal da exposição para NO<sub>2</sub> para o microambiente “Zona Habitacional”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Primavera.

É na zona centro que são registados os maiores níveis de concentração exterior e, consequentemente, os maiores níveis de exposição seguido da zona sul. Os valores de concentração exterior e de exposição observados nas figuras 43 e 44 são mais baixos do que na figura 38 e 39.

Em suma, as concentrações exteriores de NO<sub>2</sub> são mais elevadas no Inverno do que na primavera, tanto no microambiente “Escolas” e “Área Residencial” relativamente à faixa etária dos 5-19 anos, como para os microambientes “CQE”, “Outros serviços” e “Área Residencial” relativamente à etária dos 25-64 anos. No “CQE” são registados valores elevados atingindo níveis entre os 150 µg.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup> e os 200 µg.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup> em alguns dias do período em análise. Neste microambiente é de esperar estes resultados tendo em conta a localização desta área e o tipo de atividade existente, fonte emissora de NO<sub>x</sub>.

A zona que se destaca mais é a zona Sul, com os valores mais elevados, seguido da zona Centro e, por último, a zona Norte com os valores menores. Relativamente à exposição, os valores são concordantes com os valores de concentração exterior, ou seja, a exposição segue o mesmo padrão de comportamento da concentração exterior. É na zona centro e sul que se registam os níveis mais elevados de exposição. Na primavera, a exposição atinge valores de 50 µg/m<sup>3</sup>.h, os valores mais baixos registados.

O valor-limite horário para a concentração de NO<sub>2</sub> no ar ambiente é de 200 µg.m<sup>-3</sup>.h<sup>-1</sup>, valor este que não é ultrapassado nos vários microambientes analisados como “Escolas”, “Zona Habitacional” ou “Outros serviços”.

### PM10:

Para o material particulado (PM10), foi realizada a mesma análise efectuada para o poluente NO<sub>2</sub>.

- Grupo etário entre os 5 e os 19 anos na época de Inverno:

Na figura 45 estão representados os resultados da concentração exterior para os microambientes “Zona Habitacional” e “Escola” e as respectivas exposições (Figuras 46 e 47).

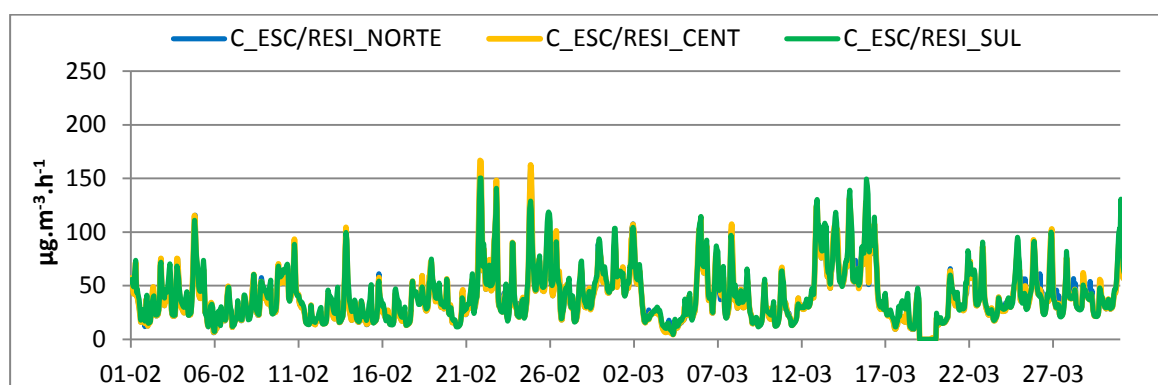


Figura 45 - Evolução temporal da concentração exterior para PM10 representativa dos microambientes “Escola” e “Zona Habitacional”, para o período de Inverno.

De notar que não existem diferenças entre a concentração exterior nos microambientes “Escola” e “Residência” para uma mesma zona (norte, centro ou sul) daí a sua sobreposição na Figura 45.

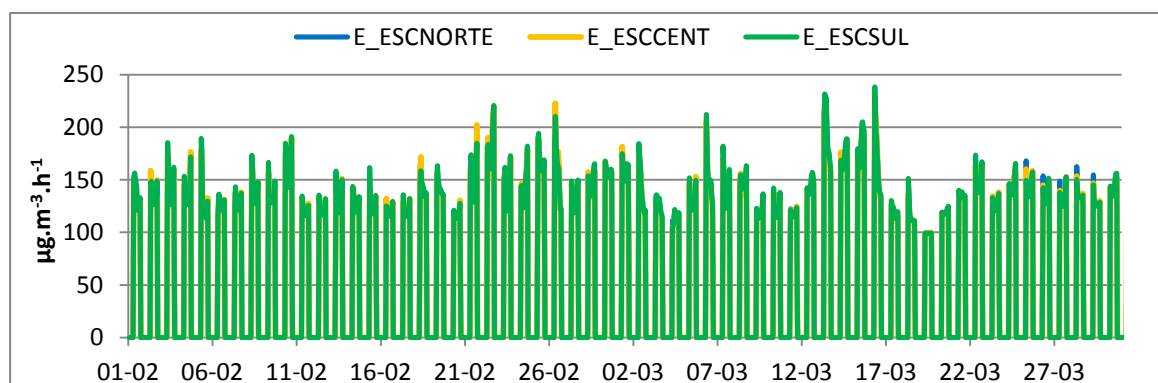


Figura 46 - Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Escola”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Inverno.

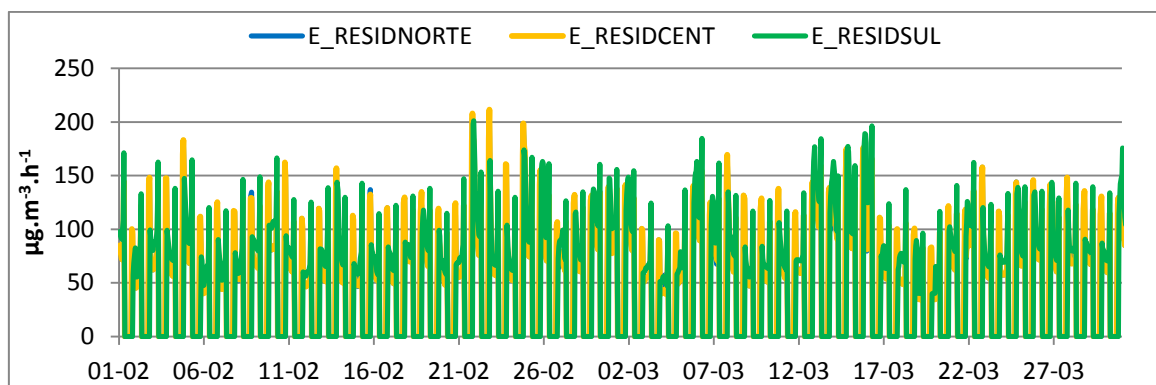


Figura 47 - Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Zona Habitacional”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Inverno.

Pela figura 45, verifica-se que os níveis de concentração nas três zonas do domínio são elevadas, sendo que em certos períodos a média diária ultrapassa o valor limite diário de  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Os níveis de exposição (Figuras 46 e 47) são mais elevados no microambiente “Escola” do que no microambiente “Zona Habitacional” devido aos níveis de concentração e ao número de indivíduos no microambiente representado na figura 46.

Não são registados níveis de exposição durante o período entre as 19 horas e as 8 horas pois os indivíduos não estão presentes nas escolas, mas sim no microambiente “Zona Habitacional”.

- Grupo etário dos 5 e os 19 anos na época de Primavera:

Nas figuras 48, 49 e 50, estão representados para o período de primavera, respetivamente, os resultados de concentração exterior e exposição, para o microambiente “Escola” e “Zona Habitacional” na zona Norte, Centro e Sul da região de estudo. Por não se notar diferenças nos microambientes “Escola” e “Zona Habitacional” relativamente aos valores de concentração exterior, foram sobrepostos os resultados e apresentados na figura 48.

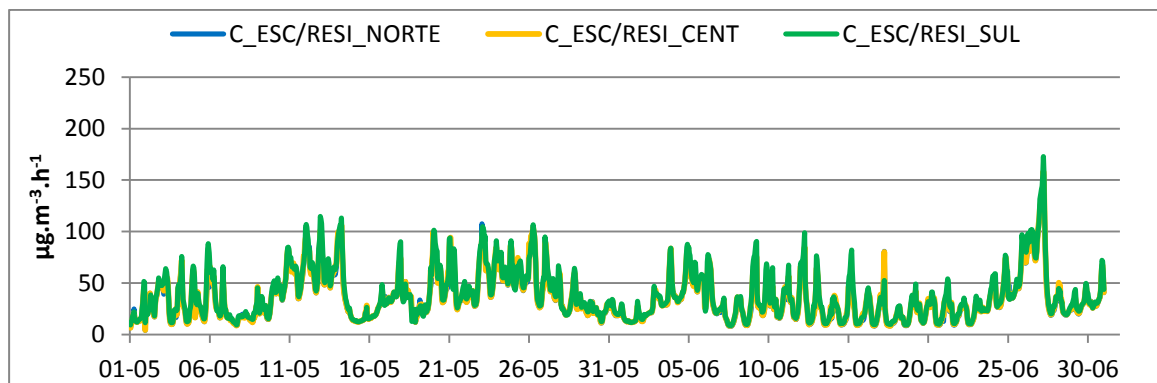


Figura 48 - Evolução temporal da concentração exterior para PM10 representativa dos microambientes “Escola” e “Zona Habitacional”, para a época de Primavera.

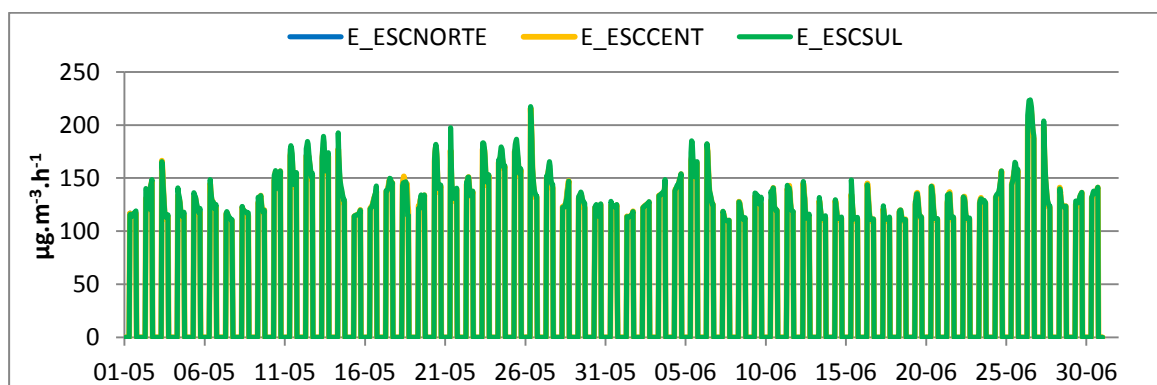


Figura 49 - Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Escola”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Primavera.

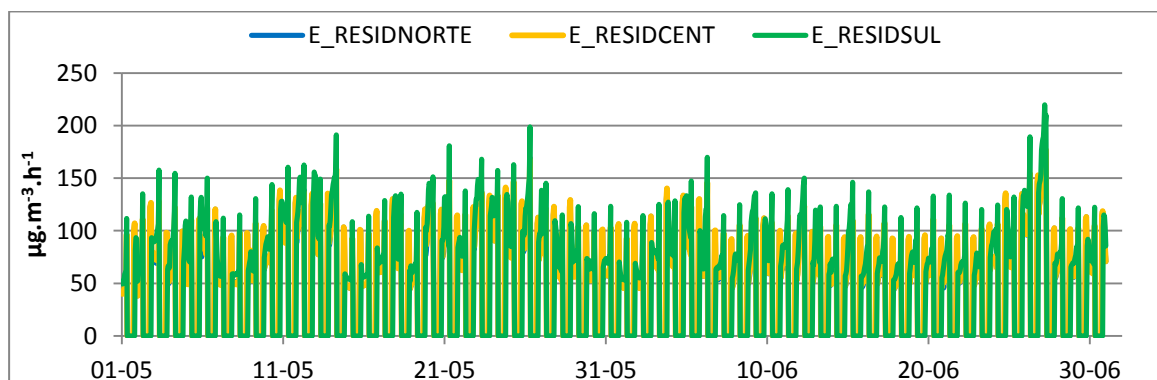


Figura 50 - Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Zona Habitacional”, grupo etário entre os 5 e os 19 anos e para a época de Primavera.

Nesta época do ano, observa-se que nas três células representativas do microambiente “Escola” e “Zona Habitacional”, nas três zonas do domínio, os níveis de concentração exterior e de exposição a PM10 são elevados. Verifica-se que os maiores níveis de exposição foram obtidos para a zona sul, seguindo da zona centro. No final do mês de

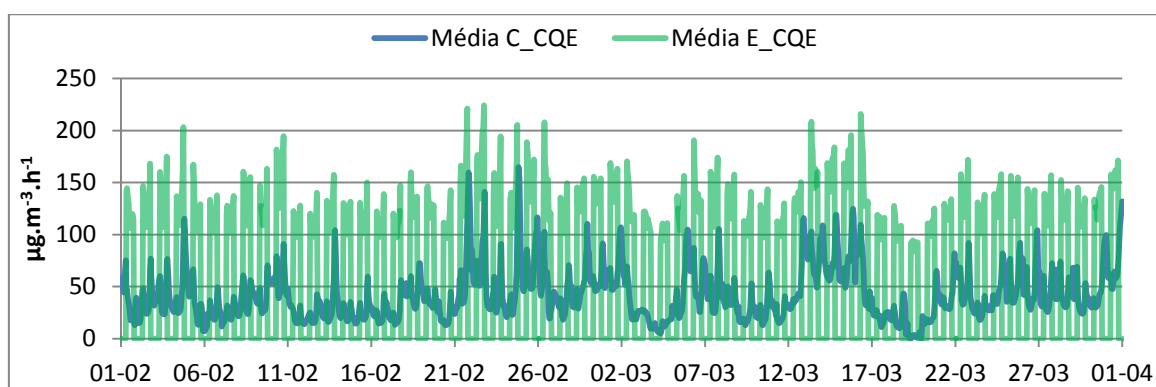


junho verificam-se valores elevados tanto de concentração exterior como de exposição, atingindo máximos de 150 e a 200  $\mu\text{g.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ , respetivamente.

Entre a época de inverno e primavera, nota-se diferença no comportamento deste poluente nas concentrações exteriores registadas e os níveis de exposição salientam esse mesmo comportamento (figuras 46, 47, 49 e 50).

### - Grupo etário entre os 25 e os 64 anos na época de Inverno:

Na figuras 51 são apresentados os resultados para a média de quatro células selecionadas aleatoriamente no Complexo Químico de Estarreja.



**Figura 51 - Evolução temporal da concentração exterior e da exposição para PM10 para o microambiente “Industria” considerando células representativas do CQE, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Inverno.**

Através da figura, verifica-se que os níveis de concentração exterior de PM10 são elevados na zona do Complexo Químico tal como os níveis de exposição a que os indivíduos presentes nesta área estão sujeitos. A variação da exposição ao longo do tempo acompanha a evolução temporal da concentração exterior.

Na figura 52 apresentam-se os resultados relativamente à concentração exterior para os microambientes “Outros Serviços” e “Zona Residencial” e nas figuras 53 e 54 estão apresentados os resultados de exposição para os mesmos microambientes e para cada uma das células representativas na zona Norte, Centro e Sul da região de estudo.

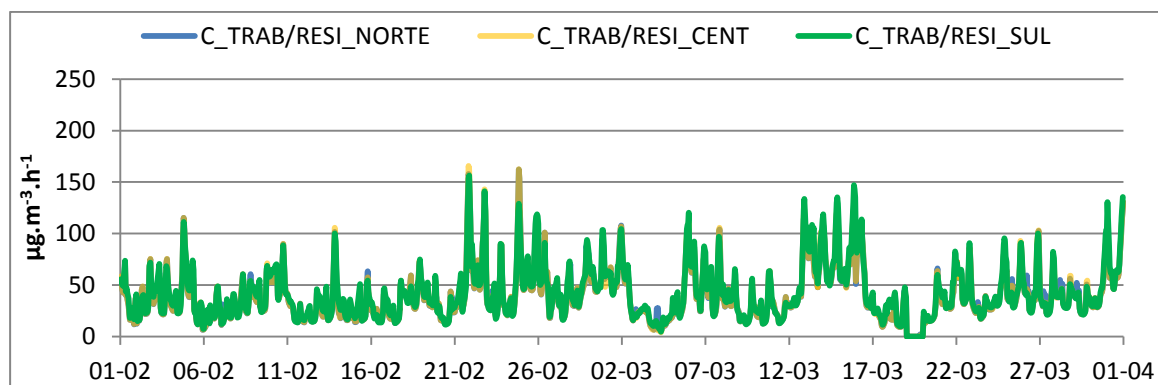


Figura 52 - Evolução temporal da concentração exterior para PM10 representativa dos microambientes “Outros serviços” e “Zona Habitacional”, para grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Inverno.

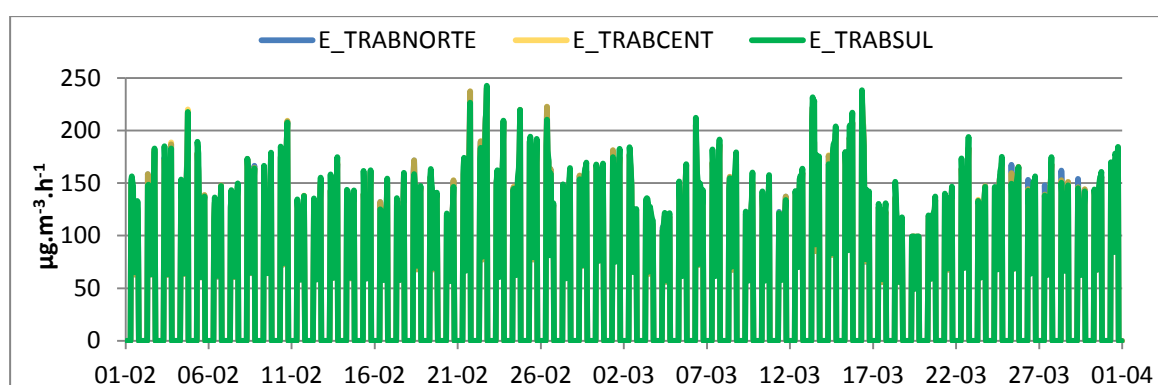


Figura 53 - Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Outros serviços”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Inverno.

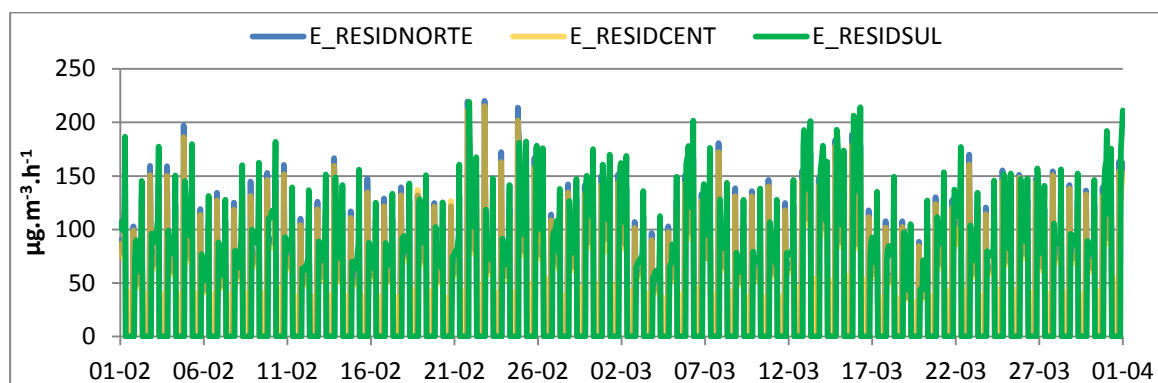


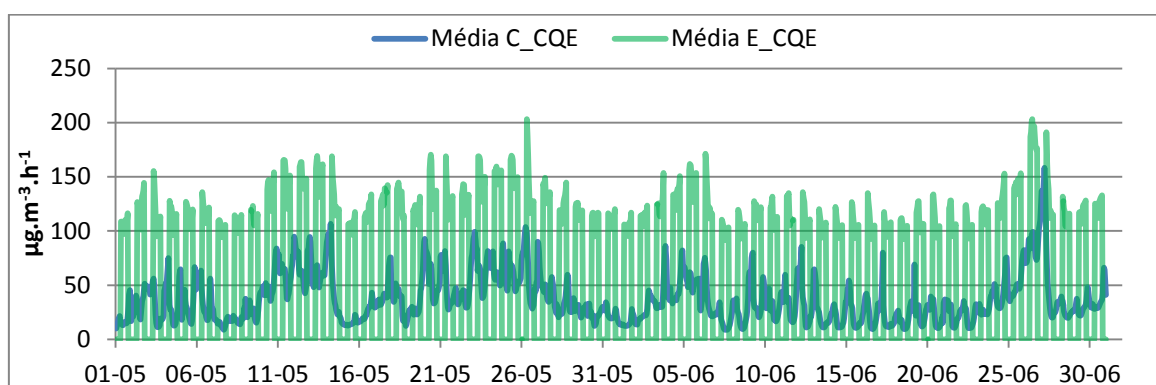
Figura 54 – Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Zona Habitacional”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Inverno.

Tal como nas situações anteriores, os valores de concentração exterior são elevados nas três zonas analisadas, sendo na zona sul e centro obtidos os valores mais elevados. Nas três células representativas do microambiente “outros serviços” os níveis de exposição são elevados tal como as concentrações ao longo do período em análise. As três áreas registam,

aproximadamente, o mesmo padrão de comportamento. Denota-se o mesmo comportamento para o microambiente “Zona habitacional”, embora com níveis ligeiramente inferiores quando comparados com o microambiente “Outros Serviços”.

- Grupo etário entre os 25 e os 64 anos na época de Primavera:

Na figura 55 estão representados os resultados para a média de quatro células selecionadas aleatoriamente no Complexo Químico de Estarreja, descrevendo o comportamento da concentração exterior e da exposição ao longo do período analisado.



**Figura 55 - Evolução temporal da concentração exterior e da exposição para PM10 para o microambiente “Indústria” considerando células representativas do CQE, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Primavera.**

Nestas células representativas do CQE, observa-se que as concentrações exteriores são elevadas e os níveis de exposição excedem, ligeiramente, os  $200 \mu\text{g.m}^{-3}$  em alguns períodos. O padrão de comportamento destas duas variáveis é muito semelhante, com exposição sempre superior à concentração exterior, como resultado das relações interior-exterior usadas. Os níveis de concentração exterior no inverno são relativamente mais elevados do que no período de primavera.

É de notar que no período noturno, a população entre os 25-64 anos que trabalha no CQE não está presente no complexo químico não estando exposta às concentrações de PM10.

Nas figuras 56, 57 e 58 estão representados os resultados de concentração exterior para o microambiente “Outros serviços” e para “Zona Habitacional” e de exposição para um célula representativa de uma zona que proporciona outros serviços à população na zona Norte, Centro e Sul da região de estudo.

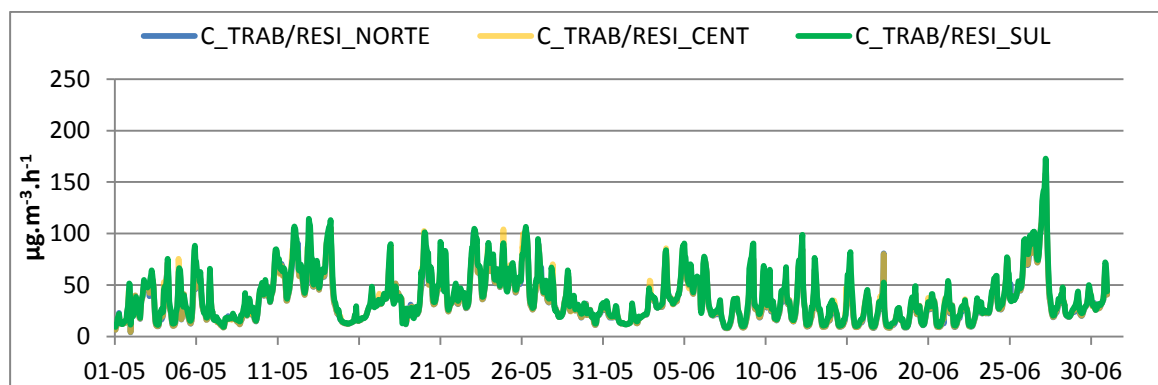


Figura 56 - Evolução temporal da concentração exterior para PM10 representativa dos microambientes “Outros serviços” e “Zona Habitacional”, para a época de Primavera.

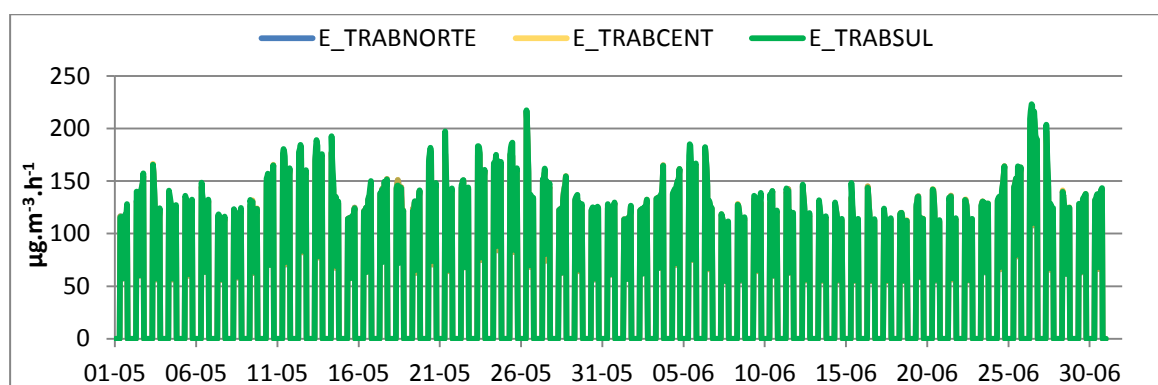


Figura 57 - Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Outros serviços”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Primavera.

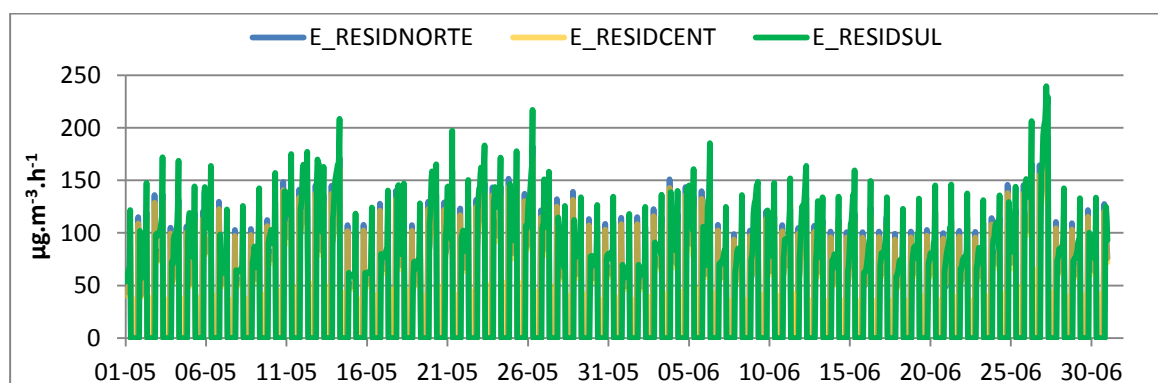


Figura 58 - Evolução temporal da exposição para PM10 para o microambiente “Zona Habitacional”, grupo etário entre os 25 e os 64 anos e para a época de Primavera.

Os níveis de concentração exterior, nestes microambientes e nesta época do ano, são elevados, atingindo varias vezes valores acima do  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ . No final do mês de Junho é atingido o máximo de  $173 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Relativamente aos resultados de exposição, é possível

verificar valores elevados nos dois micriambientes analisados. Estes resultados seguem o mesmo padrão que os resultados de concentração exterior.

Através das figuras, verifica-se que é na zona sul que os níveis de exposição são mais elevados relativamente às outras zonas consideradas, apesar de se notar que em alguns dias na zona norte e centro são atingidos valores superiores aos da zona sul, relativamente ao microambiente “Zona Habitacional”.

Resumindo, os indivíduos estão expostos, nos ambientes anteriores, a níveis horários de qualidade do ar que ultrapassam frequentemente os  $100 \mu\text{g.m}^{-3}$ , o que indica que o valor limite diário de  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$  para a proteção da saúde humana poderá ser também ultrapassado. Os diferentes locais analisados não revelam diferenças relevantes entre eles, mas nos períodos em análise, constata-se que as concentrações registadas nos vários microambientes no inverno são iguais para todo esse período, acima dos  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ , com picos no final do mês de fevereiro e meados do mês de março. Na época de primavera, os microambientes registam valores iguais de concentração, atingindo picos acima de  $100 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

### 5.2 *Distribuição Espacial*

Os resultados de exposição populacional obtidos pela aplicação do modelo foram também analisados em termos de distribuição espacial das médias mensais e mapeados com recurso à ferramenta de sistemas de informação geográfica ArcGIS.

As figuras 59 e 60 apresentam, respetivamente, a exposição populacional média mensal a  $\text{NO}_2$  e  $\text{PM}_{10}$  para os dois grupos da população, obtida para os meses de junho 2011 e fevereiro de 2012, como exemplo. As médias mensais para os restantes meses estudados encontram-se em anexo.

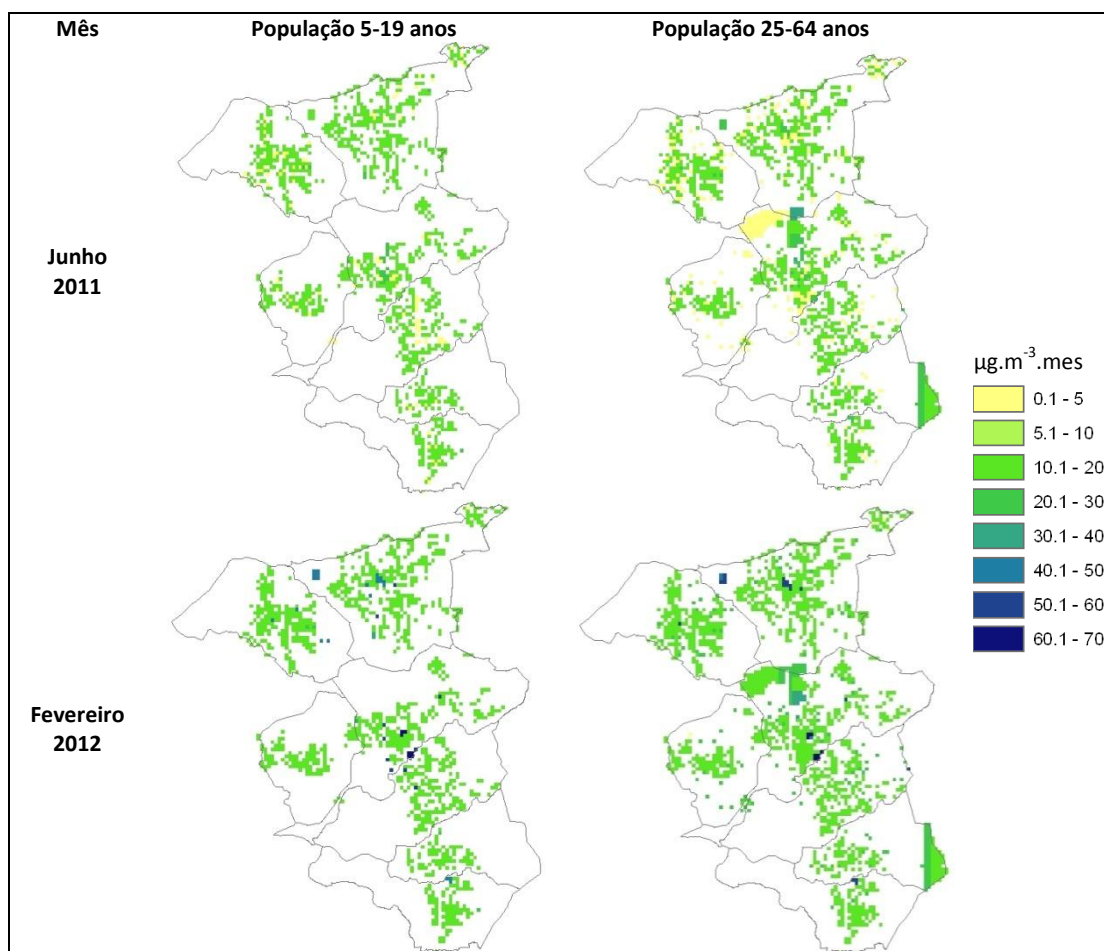
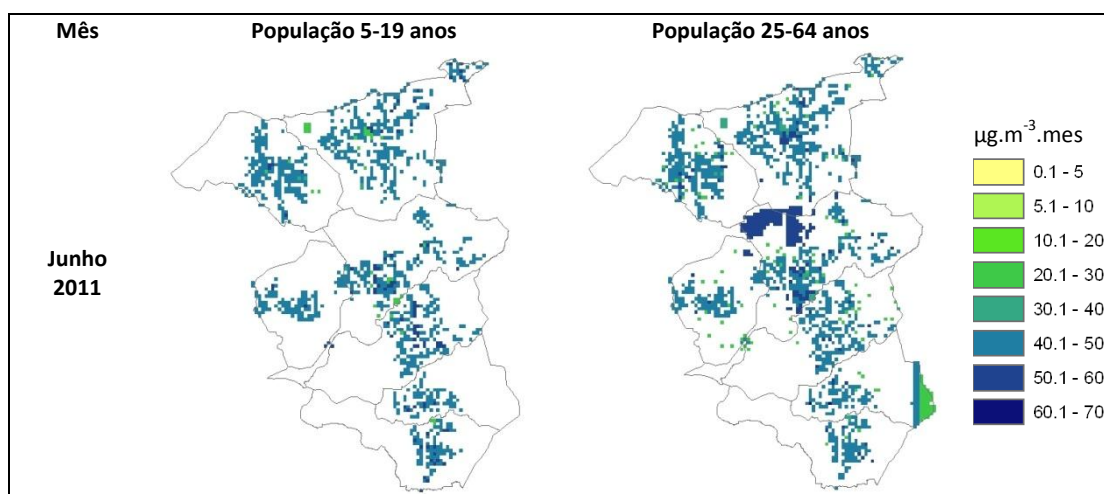


Figura 59 – Distribuição Espacial da exposição a  $\text{NO}_2$ , por faixa etária.



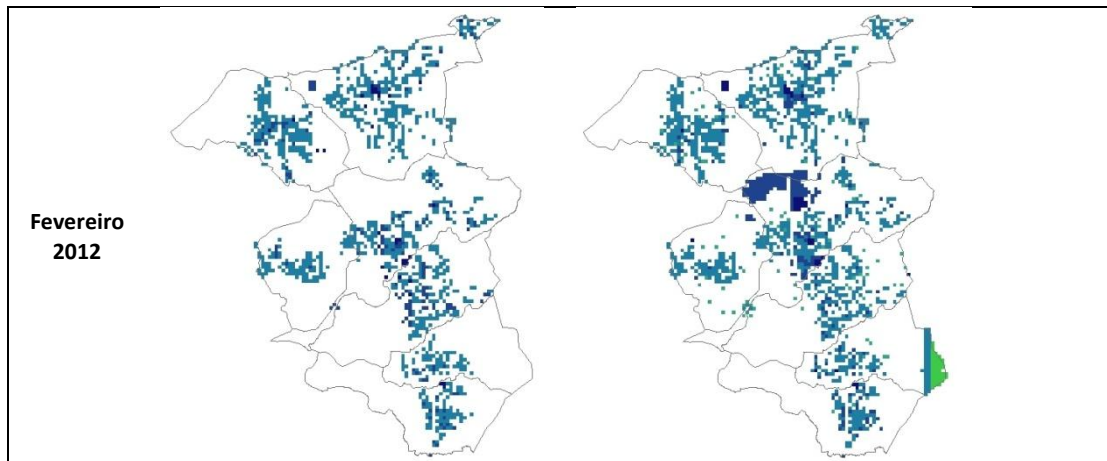


Figura 60 - Distribuição Espacial da exposição a PM10, por faixa etária

Na primavera (período representado pelos meses maio e junho), os valores de exposição de  $\text{NO}_2$  não são elevados, estando sempre abaixo dos  $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Verifica-se uma ligeira diminuição do mês de maio para junho relativamente ao grupo dos 5 aos 19 anos nos microambientes considerados. No período de inverno, observa-se a diminuição dos níveis de exposição em todo o domínio principalmente nas zonas norte e centro.

Para a população entre os 25 e os 64 anos, do mês de maio para junho e do mês de fevereiro para março nota-se uma ligeira diminuição da exposição nos microambientes analisados. Nota-se que em determinadas zonas, a exposição é mais elevada como no complexo, vias de tráfego e no centro urbano de Estarreja. Estes valores deve-se às emissões de  $\text{NO}_2$  características dos microambientes devido às emissões das indústrias e de tráfego (Figura 59). As condições meteorológicas da região também influenciam os níveis de concentração na região, tendo em conta que os ventos predominantes de norte e noroeste transportam o poluente de norte para sul, levando a que as concentrações sejam mais elevadas a sul das fontes de emissão. Em média, um indivíduo, onde quer que se encontre durante o mês junho, não está exposto a concentrações acima dos  $30 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Em fevereiro, os níveis de concentração de  $\text{NO}_2$  são mais elevados nas zonas norte e centro, consequentemente os níveis de exposição são também mais elevados nestas áreas atingindo valores de  $70 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

Relativamente à figura 60, verifica-se que os níveis de exposição às PM10 são elevados para os dois grupos de população. Relativamente à época do ano, denota-se que em fevereiro a exposição é mais elevada, ao nível de toda a região, do que em Junho principalmente na zona Norte, Este e Centro do concelho. Um indivíduo poderá estar



exposto, em ambientes interiores, a níveis de qualidade do ar superiores ao valor limite diário de  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$  para a proteção da saúde humana. Observa-se ainda, relativamente às PM10, pouca variabilidade espacial da exposição para ambos os grupos da população. Tal justifica-se pela igualmente baixa variabilidade espacial em termos de concentrações no ar exterior, resultante da maior influência dos níveis de fundo regional, relativamente às fontes locais, nos níveis de qualidade do ar de PM10 simulados (Pimentel *et al.*, 2013).

De modo geral, para o grupo dos 5 aos 19 anos, a exposição é mais elevada nas áreas residenciais do centro urbano, porque são os locais com concentrações mais elevadas onde as crianças passam mais tempo durante o dia. Em média, um indivíduo do grupo dos 25 aos 64 anos, está exposto a níveis de exposição a PM10 e NO<sub>2</sub> mais elevados junto ao CQE, no centro urbano. Quanto à exposição a NO<sub>2</sub>, destacam-se também zonas próximas das vias de tráfego e zonas exteriores, como jardins.

### 5.3 Perfis Médios

Com base nas séries temporais da exposição populacional horária obtidas para as áreas selecionadas, foram calculados perfis médios diários para cada período de tempo em estudo. Foram analisadas as mesmas áreas já anteriormente definidas sendo estas representativas do microambiente escola (para o grupo da população entre os 5-19 anos), área residencial, outros serviços (para o grupo da população entre os 25-64 anos) e CQE (para o grupo da população entre os 25-64 anos). Para cada uma das áreas definidas, os perfis diários de exposição foram comparados com os perfis diários de concentração no ar exterior. Esta análise foi efetuada para os dois poluentes em questão.

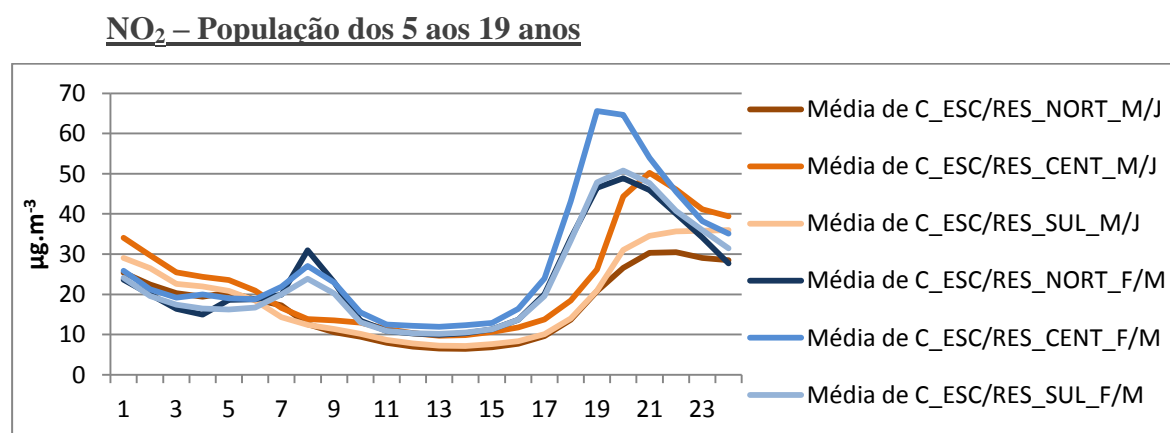


Figura 61 – Perfil médio da concentração exterior para NO<sub>2</sub> para as zonas Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas, relativamente aos microambientes “Escola” e “Zona Habitacional”.



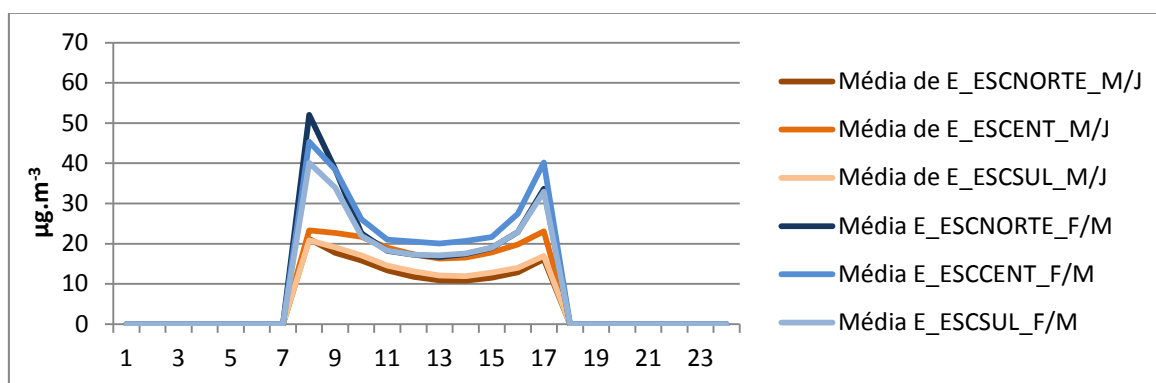


Figura 62 - Perfil médio da Exposição para NO<sub>2</sub> para as Escolas do Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.

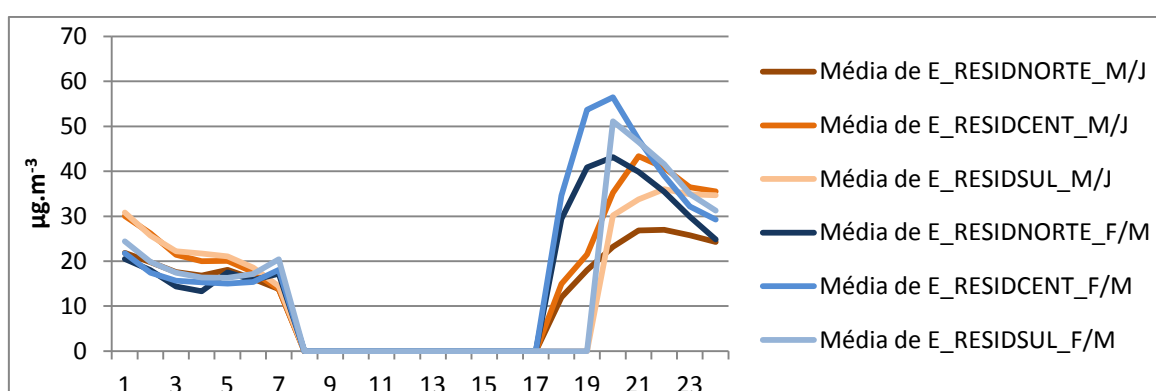


Figura 63 - Perfil médio da Exposição para NO<sub>2</sub> para as Áreas Residenciais do Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.<sup>3</sup>

Pela análise da figura 61, verifica-se que, em média, as concentrações de NO<sub>2</sub> no ar exterior são baixas face aos valores limite de qualidade do ar legislados (200 µg.m<sup>-3</sup> média horária e 40 µg.m<sup>-3</sup> média anual), e apresentam um perfil diário semelhante para ambos os períodos: época de inverno representada pelos meses de fevereiro e março e época de primavera representada pelos meses de Maio e Junho. Nas escolas e nas residências, a concentração ao longo do dia é semelhante sendo a figura 61 representativa dos dois microambientes. Na zona centro, nas duas épocas, observam-se os valores mais elevados. Pelas 8 horas e pelas 19 horas, verifica-se, principalmente na época de inverno, picos de concentração de NO<sub>2</sub> devido ao aumento da emissão do poluente pelo tráfego nestas horas.

<sup>3</sup> ESC – Microambiente “Escola”;  
RESID – Microambiente “Zona Habitacional”;  
M/J – Período de primavera (maio/junho);  
F/M – Período de inverno (fevereiro/março).

Pela análise das figuras 62 e 63, os níveis de exposição (concentração a que um indivíduo, em média, está exposto, durante o tempo que passa nesta área por dia) são baixos dado que as concentrações de NO<sub>2</sub> também são baixas em ambientes interiores. Apesar disso, os níveis de exposição na época de inverno são relativamente mais elevados do que na época de primavera. Os padrões de comportamento nas escolas das diferentes zonas são semelhantes. Verifica-se que entre as 8 horas e as 17 horas há uma maior exposição pois é nesse intervalo de tempo que as crianças estão nas escolas, sendo que na zona centro de Estarreja que há um maior número de alunos e concentrações mais elevadas do poluente. Relativamente às áreas residenciais, o comportamento, neste caso, é o oposto ao das escolas. Para além disso, observa-se que as crianças da zona residencial Norte e Centro vão diretamente da escola para casa enquanto que algumas crianças da zona sul, depois das aulas praticam atividades extracurriculares estando, assim, expostas a concentrações exteriores.

### NO<sub>2</sub> –População dos 25 aos 64 anos

Observa-se, através do gráfico da figura 64, que a concentração exterior, nas duas épocas em estudo, segue aproximadamente o mesmo comportamento ao longo das 24 horas. Quanto à exposição, de manhã que se verificam maiores níveis de exposição para este poluente devido à acumulação deste poluente na camada limite atmosférica, tendo em conta que esta é mais baixa. É de salientar um pico de exposição na época de inverno perto da hora de saída dos trabalhadores.

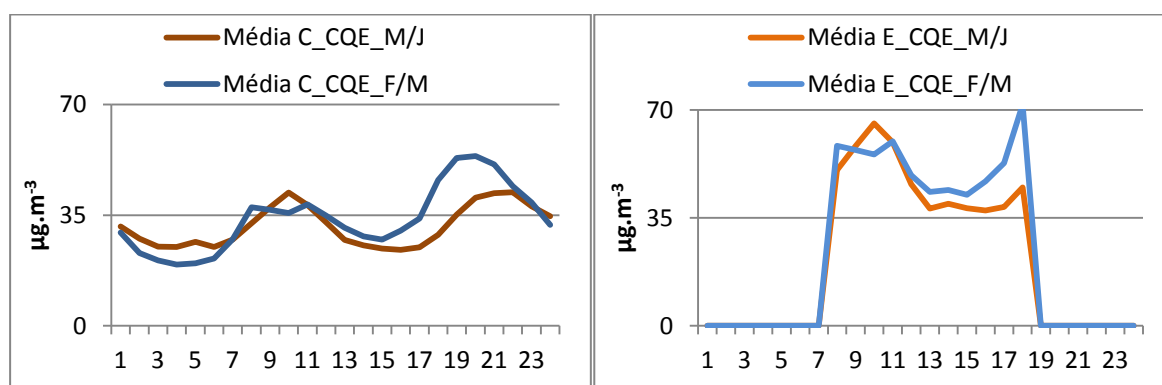
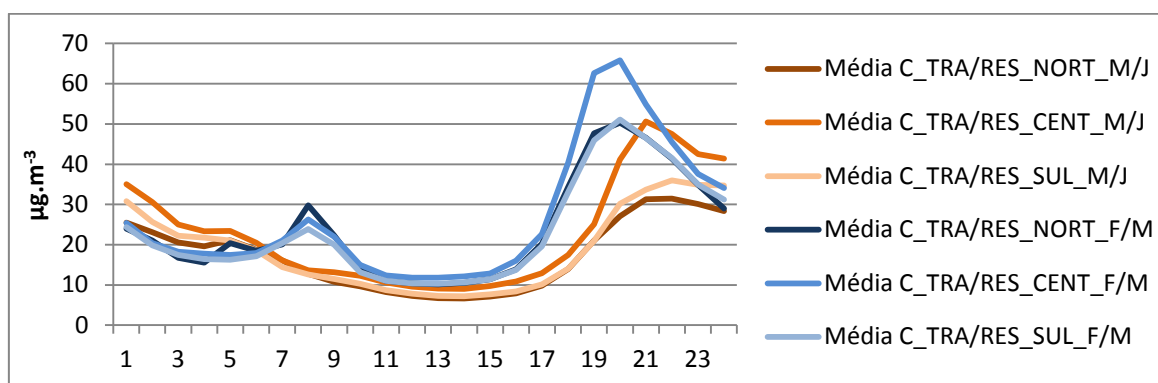


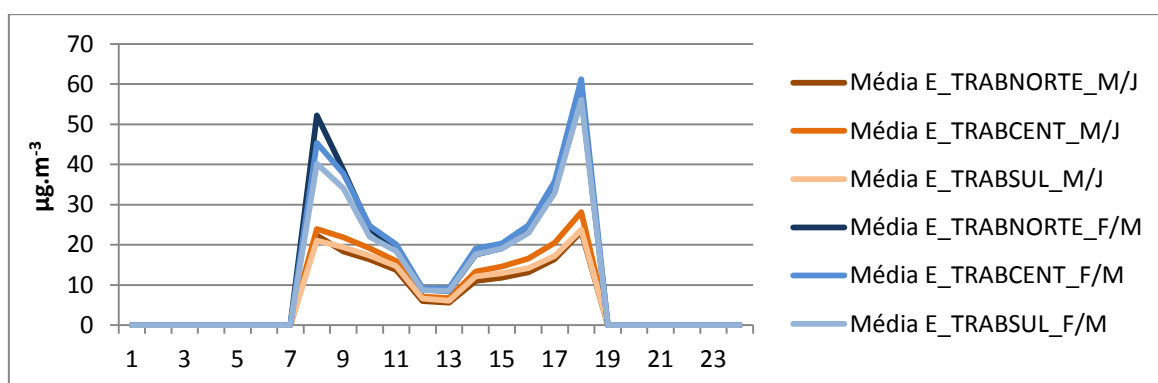
Figura 64 - Perfil médio da Concentração e Exposição o NO<sub>2</sub> para CQE, para as duas épocas analisadas.

Os perfis diários obtidos para a concentração (Figura 65) e exposição (Figura 66 e 67), do grupo dos 25 aos 64 anos apresentam um padrão distinto devido à tipologia das áreas

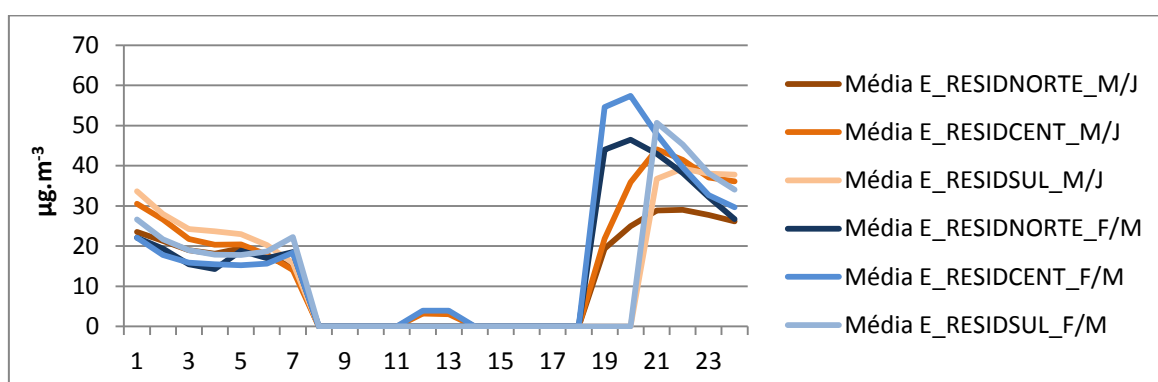
selecionadas em termos de microambientes. O centro de Estarreja é essencialmente uma área de serviços, visitada pela população empregada durante o dia, enquanto as áreas rurais do norte e do sul são zonas habitacionais apenas ocupadas durante a noite e, parcialmente, à hora do almoço.



**Figura 65 - Perfil médio da Concentração para o NO<sub>2</sub> para as Áreas Residenciais na ZONA NORTE, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.**



**Figura 66 - Perfil médio da Exposição para o NO<sub>2</sub> para as "Outros Serviços" na ZONA NORTE, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.**



**Figura 67 - Perfil médio da Exposição para o NO<sub>2</sub> para as Áreas Residenciais na ZONA NORTE, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.<sup>4</sup>**

<sup>4</sup> TRAB – Microambiente "Outros Serviços";

Observa-se pela figura 65, que os níveis de concentração exterior de NO<sub>2</sub> não são muito elevados ao longo do dia, notando-se um pico de concentração na época de inverno, por volta das 20 horas e na primavera pelas 21 horas, tal como verificado para o exterior do microambiente “Escola” (Figura 61). Tanto para as áreas de serviço como áreas residenciais, a concentração nas duas épocas analisadas tem um comportamento semelhante, apesar de se as concentrações na época de inverno serem mais elevadas na maior parte do dia (figura 65).

Relativamente à exposição (figura 66 e 67), nas áreas de serviços verifica-se níveis de NO<sub>2</sub> superiores no inverno em relação à época de primavera. Entre as 8 horas e as 19 horas, os indivíduos estão presentes no microambiente “outros serviços”. Nas restantes horas do dia, a população encontra-se em casa. Entre as 12 horas e as 14 horas, parte da população presente nos serviços vai almoçar a casa, facto traduzido pela diminuição da exposição na figura 66 e o aumento na figura 67.

### **PM10 - População dos 5 aos 19 anos**

Para as PM10, os perfis médios diários de concentração exterior apresentam pouca variabilidade durante o período de primavera e inverno (figura 68). Verifica-se uma tendência para o aumento das concentrações durante a tarde no período de inverno e um ligeiro aumento ao início da manhã nos dois períodos, devido à contribuição das emissões de tráfego, que é mais intenso nesses períodos. A pouca variabilidade das concentrações deve-se à influência dos níveis de fundo e do transporte de outras regiões, um dos fatores que mais contribui para os níveis de PM10 no concelho de Estarreja, em detrimento das fontes locais (tráfego e indústria). Quanto à exposição, os indivíduos do grupo etário mais baixo estão expostos a concentrações de PM10 elevadas nos períodos do dia em que as concentrações exteriores são mais elevadas, notando-se esta exposição, por volta, das 8 horas e 17 horas na figura 69 e, por volta, das 7 horas e 18 horas na figura 70, uma vez que esta faixa etária está em microambientes interiores nessas horas do dia e a relação interior-exterior usada considera concentrações mais elevadas em ambiente interior.

---

RESID – Microambiente “Zona Habitacional”;  
M/J – Período de primavera (maio/junho);  
F/M – Período de inverno (fevereiro/março).

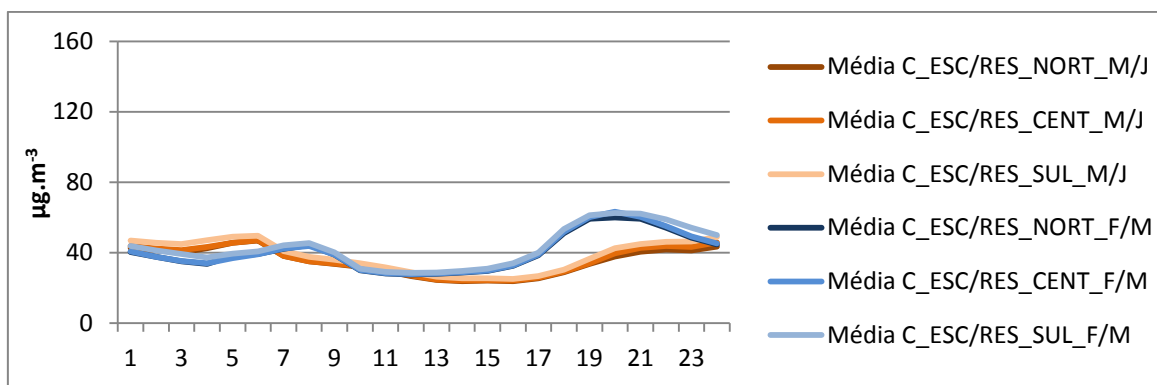


Figura 68 - Perfil médio da concentração para o PM10 para as Escolas do Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.

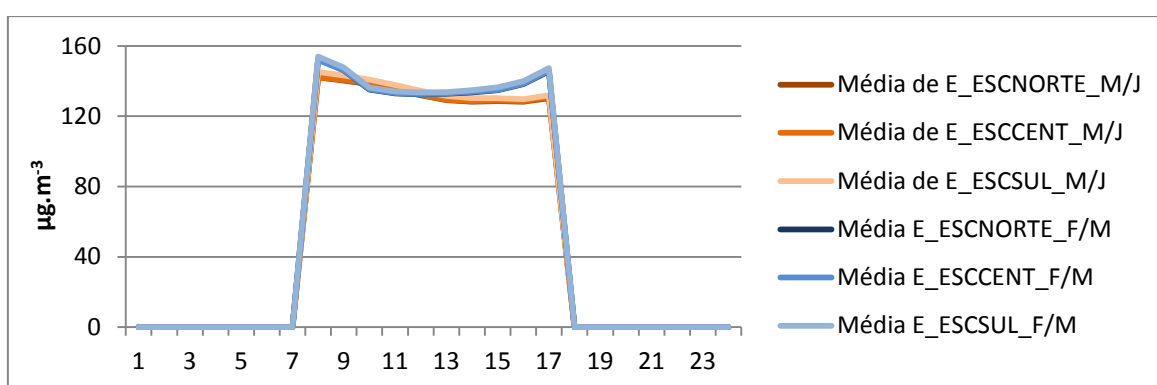


Figura 69 - Perfil médio da exposição para o PM10 para as Escolas do Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.

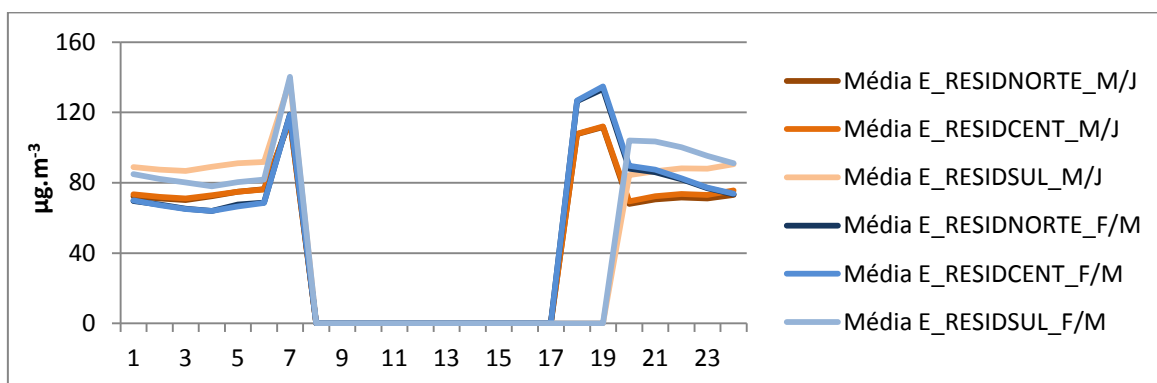


Figura 70 - Perfil médio da exposição para o PM10 para as Áreas Residenciais do Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.

## PM10 - População dos 25 aos 64 anos

Pela análise do gráfico da figura 71, é possível constatar que os níveis de concentração ao longo do dia na época de primavera e de inverno são constantes (figura 71). Uma das causas

prováveis para este acontecimento poderá ser a emissão de partículas pelas indústrias presentes no CQE, consideradas constantes no modelo de qualidade do ar.

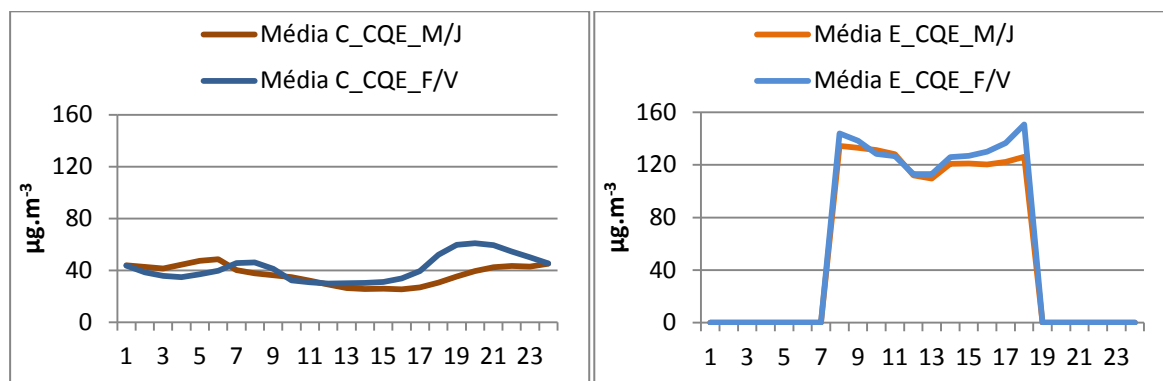


Figura 71 - Perfil médio da concentração e exposição para PM10 para CQE, para as duas épocas analisadas.

Relativamente à exposição no mesmo local de análise da concentração exterior, verifica-se que esta é nula entre as 20 horas e as 6 horas devido à não existência de pessoas no CQE neste período de tempo. Durante a hora de almoço alguns trabalhadores saem do complexo químico para almoçarem, havendo assim uma diminuição da exposição.

Para a faixa etária dos 25 aos 64 anos, os perfis diários obtidos para as concentrações no ar exterior apresentam também pouca variabilidade, (figura 72). Verifica-se a mesma tendência de aumento das concentrações durante a tarde no período de inverno e um ligeiro aumento ao início da manhã nos dois períodos, como verificado para as concentrações apresentadas para a faixa etária entre os 5 e os 19 anos (figura 68).

Os níveis de exposição mais elevados foram obtidos nas áreas residenciais a norte e a sul do concelho ao início e ao fim do dia, e na área de serviços do centro da cidade durante o dia, em concordância com o perfil atividade tempo e a distribuição da população empregada pelos microambientes ao longo do dia. Os valores de exposição simulados revelam que, em média, um indivíduo da faixa etária dos 25 aos 64 anos poderá estar exposto a níveis elevados de PM10 atingindo  $160 \mu\text{g.m}^{-3}$  (figuras 73 e 74).

Os valores de concentração simulados, em média diária, ultrapassam o valor limite horário para proteção da saúde humana de PM10 ( $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ ), tendo influência nos níveis de concentração.

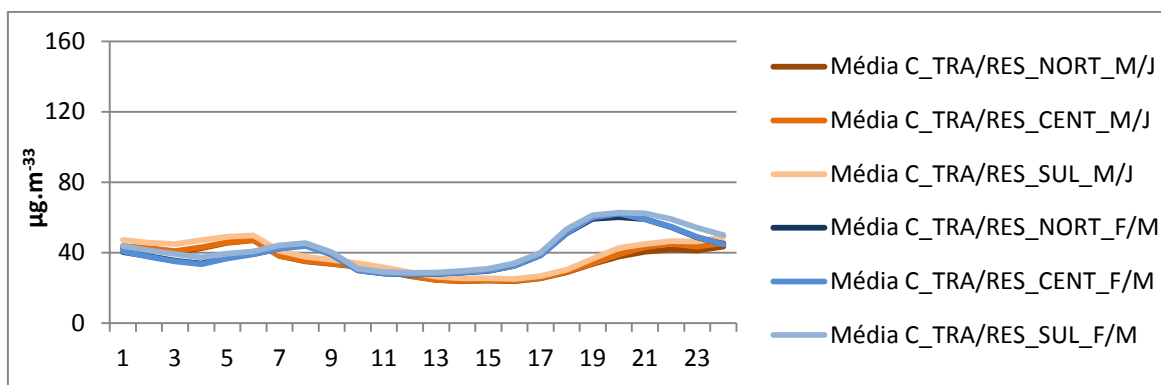


Figura 72 - Perfil médio da Concentração para PM10 para as “Outros Serviços” na zona Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.

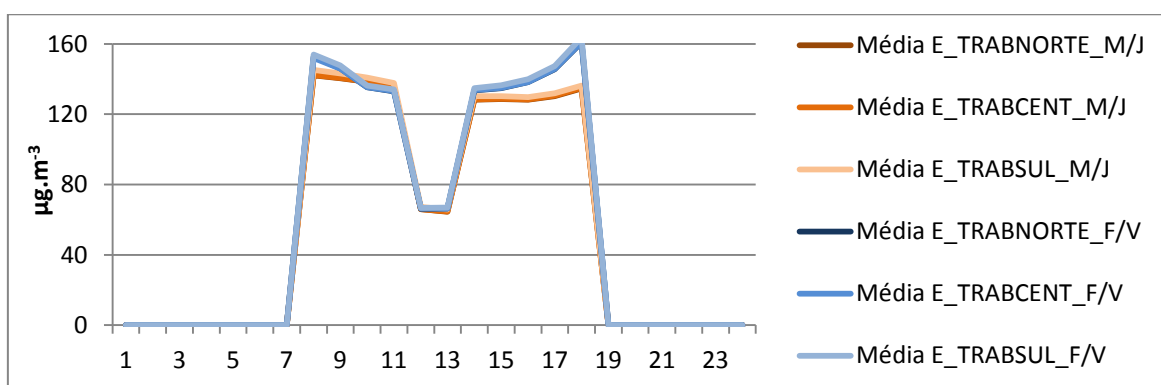


Figura 73 - Perfil médio da Exposição para PM10 para as “Outros Serviços” na zona Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.

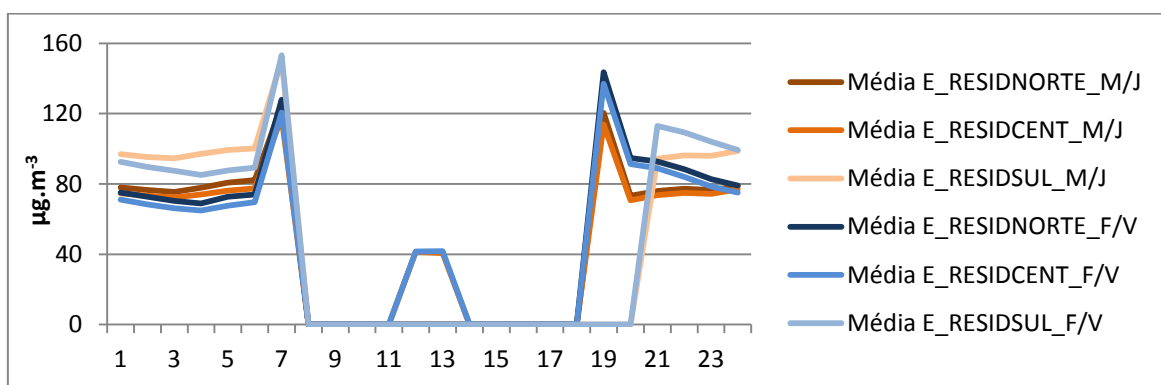


Figura 74 - Perfil médio da Exposição para PM10 para as Áreas Residenciais do Norte, Centro e Sul para as duas épocas analisadas.





---

## 6. CONCLUSÕES

O presente trabalho foi desenvolvido com o principal objetivo de estimar a exposição humana a longo prazo a poluentes atmosféricos, da população de uma área urbana industrializada, a região de Estarreja, visto que esta região detém um Complexo Químico Industrial (CQE), que é um dos maiores a nível nacional.

Em regiões urbanas industrializadas, os óxidos de azoto e o material particulado constituem dos poluentes mais críticos em termos da qualidade do ar uma vez que são essencialmente emitidos pelo tráfego e pela indústria. Como consequência, a população fica exposta a elevados níveis de poluentes, prejudicando gravemente a sua saúde.

A metodologia utilizada neste trabalho seguiu a abordagem microambiental, em que a exposição, um dos eventos de uma cadeia que vai desde as emissões de poluentes para a atmosfera até aos seus efeitos na saúde, é estimada em função das concentrações de poluentes nos microambientes visitados pela população ao longo de um dia.

A exposição foi calculada recorrendo a um modelo de exposição populacional já existente, que foi adaptado e aplicado ao concelho de Estarreja com uma resolução espacial de 125 x 125 m<sup>2</sup>. Este modelo foi aplicado aos dois subgrupos mais populosos da população residente de Estarreja (faixas etárias dos 5 aos 19 e dos 25 aos 64 anos) em dois períodos

de dois meses representativos respetivamente da primavera e do inverno – 1 maio a 30 junho 2011 e 1 fevereiro a 31 março 2012.

Os dados de entrada admissíveis ao modelo de exposição foram as concentrações nos locais visitados pela população (microambientes) obtidos por um modelo de qualidade do ar (URBAIR), a distribuição espacial dos microambientes da população e perfis atividade-tempo da população.

Os resultados obtidos pelo modelo de exposição foram analisados em termos de evolução horária da exposição populacional média, distribuição espacial das médias mensais para os períodos indicados e perfis médios diários para cada período de tempo em estudo. Foram selecionadas microambientes como zona habitacional, zona de serviços e escolas, a norte, centro e sul do concelho de Estarreja, e a zona do CQE para análise comparativa da concentração exterior e exposição média obtidas.

Relativamente à evolução temporal das concentrações de  $\text{NO}_2$ , observa-se que concentrações exteriores são mais elevadas na zona centro e na época de inverno

Os indivíduos presentes no microambiente “zona habitacional” estão em média mais expostos a  $\text{NO}_2$  do que nos outros microambientes, à exceção do CQE, uma vez que as concentrações mais elevadas foram obtidas durante a noite.

Para o grupo etário entre os 5-19 anos, a exposição atinge valores máximos de  $155 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  nos microambientes visitados. Para o grupo entre os 25 e os 64 anos, o máximo atingido é de, aproximadamente,  $190 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  na época de inverno.

Relativamente às  $\text{PM}_{10}$ , a variação da concentração exterior é bastante semelhante em todos os microambientes estudados para ambos os períodos primavera e inverno simulados para toda a região. Os níveis de exposição são elevados ultrapassando os  $200 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ .

A distribuição espacial da exposição populacional média, mostra que os valores de exposição de  $\text{NO}_2$  são baixos em toda a região de estudo. No entanto, no período de inverno, os níveis de exposição são ligeiramente superiores à primavera em todo o domínio principalmente na zona norte e centro. Para a população entre os 25 e os 64 anos, verifica-se que a exposição é mais elevada em zonas como o complexo químico, vias de tráfego e no centro urbano de Estarreja.

Os valores de exposição de PM10 são elevados em todos os microambientes analisados para os dois grupos etários. É de destacar o CQE, microambiente visitado pela população entre os 25 e os 64 anos, pelos níveis elevados de exposição verificados. As condições meteorológicas da região influenciam o transporte e a dispersão deste poluente, arrastando as PM10 do norte para sul. O mapeamento dos valores de PM10 mostra a baixa variabilidade espacial deste poluente na região de Estarreja em termos de concentração no ar exterior que resulta da maior influência dos níveis de fundo regional, relativamente às fontes locais.

Relativamente aos perfis médios diários com base nas séries temporais da exposição populacional horária, é visível a influência dos padrões atividade-tempo e a sua importância no cálculo da exposição. Os resultados mostram que as crianças e os adultos estão expostos no período noturno aos poluentes no microambiente “zona habitacional” e durante o dia estão mais expostos nos locais onde passam mais tempo (na escola, outros serviços ou CQE).

O NO<sub>2</sub> apresenta valores no período de inverno superiores aos registados na época de primavera, sendo a zona centro aquela que regista nas duas épocas os valores mais elevados do poluente em análise. Em média, as concentrações do ar exterior são baixas face aos valores limite de qualidade do ar legislados (200 µg.m<sup>-3</sup> média horária e 40 µg.m<sup>-3</sup> média anual). A variação média diária da concentração exterior da exposição mostra influência das emissões de tráfego, mais elevadas ao início da manhã e ao fim da tarde.

As concentrações exteriores de PM10 mostram a pouca variabilidade deste poluente na região em estudo pois os valores de inverno e de primavera são bastante semelhantes ao longo de todo o domínio.

A partir dos resultados obtidos em termos de exposição populacional, observa-se que a população está potencialmente exposta a níveis de PM10 que poderão afetar a sua saúde, uma vez que o valor limite diário de qualidade imposto pela legislação para a proteção da saúde humana é excedido. Relativamente aos valores de NO<sub>2</sub>, os valores de exposição obtidos são baixos e portanto não são preocupantes em termos de saúde.

A metodologia utilizada neste estudo demonstra que a estimativa da exposição deve ter em conta o perfil atividade-tempo da população, ou seja, as concentrações de poluentes e o tempo passado em ambientes interiores ocupados pela população. Uma forma de melhorar os resultados obtidos, seria ter em conta padrões de atividade-tempo específicos para a região, uma vez que neste estudo foram considerados os padrões de atividade médios nacionais.

A utilização dos dados por subsecção relativamente à distribuição da população promove a obtenção de resultados de exposição mais detalhados para toda a região.

Relativamente ao modelo de exposição utilizado, seria vantajoso alargar o número de microambientes considerados e aperfeiçoar o modelo em termos de cálculo das concentrações interiores, mediante a utilização de relações interior-exterior adaptadas à realidade nacional ou recorrendo a medições diretas nos locais de interesse.

O estudo realizado nesta dissertação engloba parte da cadeia de eventos que liga a emissão dos poluentes para atmosfera até aos efeitos na saúde humana, pois não vai além da exposição. Numa fase posterior a esta dissertação seria imprescindível considerar os restantes eventos da cadeia, isto é, o cálculo da dose de poluente que atinge o organismo humano e a avaliação médica, de forma a avaliar os potenciais efeitos da qualidade do ar da região de Estarreja na saúde da população deste município. Para ajudar este tipo de método seria obter o registo informático da informação relativa à afluência hospitalar. Esta abordagem sequencial da cadeia de eventos salienta a importância de uma interação e integração de várias áreas interessadas como ambiente, epidemiologia e medicina, como uma mais valia para um melhor entendimento dos efeitos da poluição atmosférica na saúde humana.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abhishek, T., & Colls, J. (2010). *Air pollution: measurement, modelling and mitigation* (Third edit.). Oxon. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Air+Pollution:+Measurement,+modelling+and+mitigation#0>
- Amorim, J. H. ., Lopes, M., Borrego, C., Tavares, R., & Miranda, A. I. (2010). Air quality modelling as a tool for sustainable urban traffic management (pp. 3–14). doi:10.2495/AIR100011
- Baek, S., Kim, Y., & Perry, R. (1997). Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas—indoor/outdoor relationships. *Atmospheric Environment*, 31(4), 529–544. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231096002154>
- Borrego, C, Tchepel, O., Costa, a, Martins, H., Ferreira, J., & Miranda, a. (2006). Traffic-related particulate air pollution exposure in urban areas. *Atmospheric Environment*, 40(37), 7205–7214. doi:10.1016/j.atmosenv.2006.06.020
- Borrego, C. ., Lopes M., & et al. (2012). *Integrated air quality modelling for sustainable urban planning guidance*. Universidade de Aveiro.
- Borrego, C., Miranda, A. I., Ferreira, J., Santos, J., Martins, H., Monteiro, A., Tavares, R. (2007). *Projecto Saudar “A Saúde e o Ar que Respiramos.”* Universidade de Aveiro.
- Borrego, Carlos, Costa, A., Lopes, M., Miranda, A., Monteiro, A., Valente, J., & Tavares, R. (2007). *PAREXPO Project Particulate Matter in Ambient Air and Human Exposure*. Aveiro.

- Burke, J., Zufall, M., & Ozkaynak, H. (2001). A population exposure model for particulate matter: case study results for PM<sub>2.5</sub> in Philadelphia, PA. *Journal of Exposure Analysis ...*, 470–489. Retrieved from [http://www.researchgate.net/publication/11567785\\_A\\_population\\_exposure\\_model\\_for\\_particulate\\_matter\\_case\\_study\\_results\\_for\\_PM\(2.5\)\\_in\\_Philadelphia\\_PA/file/9c960516417ed431e6.pdf](http://www.researchgate.net/publication/11567785_A_population_exposure_model_for_particulate_matter_case_study_results_for_PM(2.5)_in_Philadelphia_PA/file/9c960516417ed431e6.pdf)
- Castro, H. A. de, Gouveia, N., & Escamilla-Cejudo, J. A. (2003). Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 6(2), 135–149. doi:10.1590/S1415-790X2003000200007
- CE (Comissão Europeia), D. G. do A. (1998). *Discussion Paper on Future Development of Air Quality Policy in the European Union*. Bruxelas.
- Duan, N. (1982). Models for human exposure to air pollution. *Environment International*, 8(1-6), 305–309. doi:10.1016/0160-4120(82)90041-1
- Duarte, B. (2012). *Contributo de fontes de emissão na qualidade do ar em Estarreja*. Universidade de Aveiro. Retrieved from <http://ria.ua.pt/handle/10773/9509>
- European Environment Agency. (2013). *Air quality in Europe — 2013 report*. Copenhagen K. doi:10.2800/92843
- Ferreira, J. C. (2007). *Relação Qualidade do Ar e Exposição Humana a Poluentes Atmosféricos*. Universidade de Aveiro.
- Figueiredo, M. de L. M. (2011). *Contributo para a Gestão da Qualidade do Ar em Estarreja*. Universidade de Aveiro.
- Gulliver, J., & Briggs, D. J. (2007). Journey-time exposure to particulate air pollution. *Atmospheric Environment*, 41(34), 7195–7207. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.05.023
- Hänninen, O. O., Alm, S., Katsouyanni, K., Künzli, N., Maroni, M., Nieuwenhuijsen, M. J., ... Jantunen, M. J. (2004). The EXPOLIS study: implications for exposure research and environmental policy in Europe. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 14(6), 440–56. doi:10.1038/sj.jea.7500342
- Hertel, O. L. E., Leeuw, F. A. A. M. D. E., Raaschou-nielsen, O. L. E., Jensen, S., Gee, D., Herbarth, O. L. F., ... Olsen, E. (2001). CHEMISTRY AND HUMAN HEALTH DIVISION COMMISSION ON TOXICOLOGY-HUMAN EXPOSURE TO OUTDOOR AIR POLLUTION ( IUPAC Technical Report ) Human exposure to outdoor air pollution ( IUPAC Technical Report ), 73(6), 933–958.
- INE, I. N. de E. (1999). *Inquérito à Ocupação do Tempo 1999: Principais Resultados*.

- Instituto Nacional de Estatística. (2012). *Censos 2011 Resultados Definitivos - Portugal*. Lisboa. Retirado de <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Census+2011#0>
- Lameiras, Helena, (2011). *Relatório da Qualidade do Ar na Região Centro 2011*. Coimbra.
- Maria Elisa Seabra Azevedo Cunha e Sá. (2008). *Previsão da exposição humana à poluição atmosférica a nível nacional*. Universidade De Aveiro.
- Monn, C. (2001). Exposure assessment of air pollutants: a review on spatial heterogeneity and indoor/outdoor/personal exposure to suspended particulate matter, nitrogen dioxide and ozone. *Atmospheric Environment*, 35(1), 1–32. doi:10.1016/S1352-2310(00)00330-7
- Monteiro, a, Miranda, a I., Borrego, C., & Vautard, R. (2007). Air quality assessment for Portugal. *The Science of the total environment*, 373(1), 22–31. doi:10.1016/j.scitotenv.2006.10.014
- Organization, W. H. (2005). Principles of Characterizing and Applying Human Exposure Models. *Harmonization Project Document No*, (3). Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Principles+of+characterizing+and+applying+human+exposure+models#8>
- Ott, W. R. (1982). Concepts of human exposure to air pollution. *Environment International*, 7(3), 179–196. doi:10.1016/0160-4120(82)90104-0
- PIMENTEL, C., VALENTE, J., FERREIRA, J., TAVARES, R., DUARTE, B., & LOPES, M. (n.d.). Variabilidade temporal e espacial da qualidade do ar na região de Estarreja. Aveiro: 10ª Conferência Nacional do Ambiente.
- Poupard, O., Blondeau, P., Iordache, V., & Allard, F. (2005). Statistical analysis of parameters influencing the relationship between outdoor and indoor air quality in schools. *Atmospheric Environment*, 39(11), 2071–2080. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.12.016
- R. A. Field, P. Pérez Ballesta, A. Baeza Caracena, I. Nikolova, R. Connolly, N. C., & M. Gerboles, D. Buzica, L. Amantini, F. Lagler, A. Borowiak, L. Marelli, G. De Santi and Saeger, E. De. (2005). Population Exposure to Air Pollutants in Europe (PEOPLE) Methodological Strategy and Basic Results Population Exposure to Air Pollutants in Europe (PEOPLE) Methodological Strategy and Basic Results.
- Reid, N., Misra, P. K., Amman, M., & Hales, J. (2007). Air quality modeling for policy development. *Journal of toxicology and environmental health. Part A*, 70(3-4), 295–310. doi:10.1080/15287390600884933
- SMPC, E. (2006). *Plano Municipal de Emergência de Estarreja* (pp. 1–22). Estarreja.

## Referências Bibliográficas

---

- USEPA. (2001). Air quality criteria for particulate matter. *National ...*, I. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Air+Quality+Criteria+for+Particulate+Matter#0>
- Vallero, D. (2008). *Fundamentals of air pollution*. (Elsevier, Ed.) (Fourth Edi.). Retrieved from [http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti\\_id=79156](http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=79156)
- WHO. (1999). Monitoring ambient air quality for health impact assessment. *WHO regional publications. European series*, 85(85), i–xvii, 1–196. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10791104>
- WHO. (2005). *Air Quality Guidelines - Global Update 2005*. Available at [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair\\_aqg/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_aqg/en/). [accessed 15 September 2013]. doi:10.1016/0004-6981(88)90109-6
- Wu, J., Lurmann, F., Winer, a, Lu, R., Turco, R., & Funk, T. (2005). Development of an individual exposure model for application to the Southern California children's health study. *Atmospheric Environment*, 39(2), 259–273. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.09.061

## Sítios na Internet

URL 1: <http://www.sinphonie.eu/>

Consultado em: 23 de novembro de 2012;

URL 2: <http://www.ua.pt/gemac/inspirar/>

Consultado em: 23 de novembro de 2012;

URL 3: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=150>

Consultado em: 2 de fevereiro de 2013;

URL 4: [http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos2011\\_apresentacao](http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos2011_apresentacao)

Consultado em: 20 de dezembro de 2012.



---

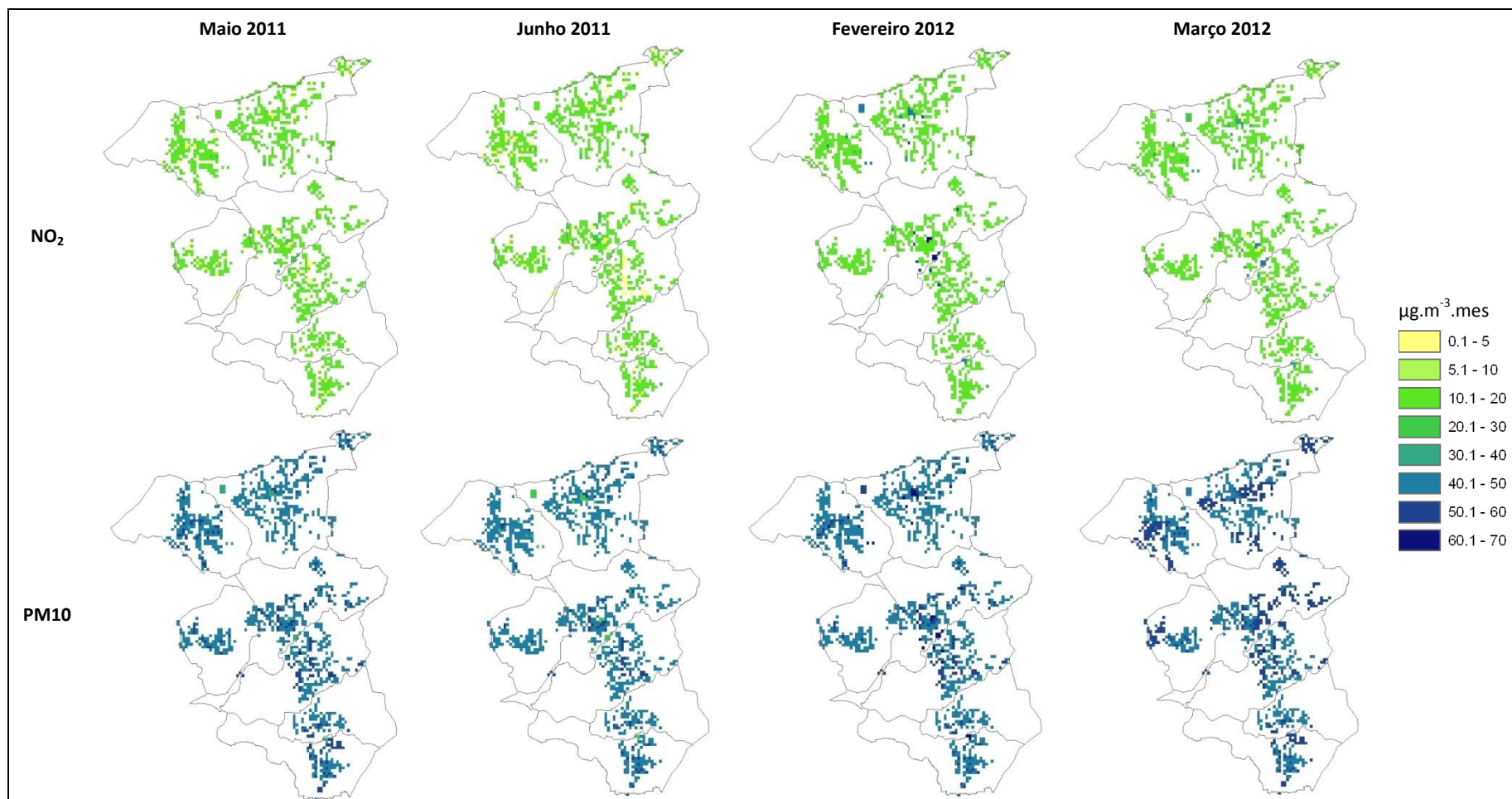
## ANEXOS

### Anexos I – Mapas de distribuição espacial das médias mensais



Anexo I – Mapas de distribuição espacial das médias mensais

## Grupo 5-19



### Grupo 25-64

